B20396F

Max Planck FORSCHUNG

Das Wissenschaftsmagazin der Max-Planck-Gesellschaft **2.2015**



Altern

FORSCHUNGSPOLITIK
Wir müssen Exzellenz neu bündeln

INFORMATIK
Display aus dem Drucker

BIODIVERSITÄT
Bilanz im Biotop

WISSENSCHAFTSGESCHICHTE
Die Masterpläne der Mandarine



Foto: IRAM / André Rambaud

Am Gipfel der Beobachtungskunst

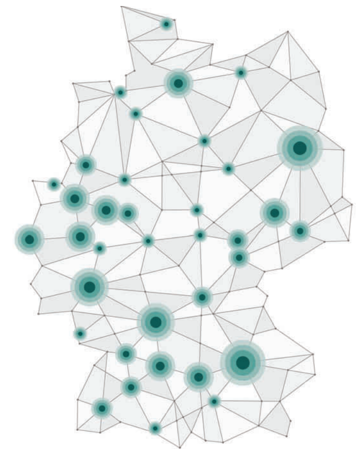
Die Kulisse ist filmreif. Jeden Moment könnte James Bond um die Ecke schießen, um wieder mal die Welt vor irgendeinem Schurken zu retten. In Wirklichkeit verfolgen die Menschen, die sich hier oben auf 2550 Metern Höhe normalerweise aufhalten, durchaus friedliche Absichten. Passend zum spacigen Ambiente gilt ihr Interesse nicht der atemberaubenden Schönheit der französischen Hochalpen, sondern den entlegensten Ecken des eiskalten Universums. Denn mit den Radioantennen auf dem Plateau de Bure untersuchen Astronomen interstellare Moleküle und kosmischen Staub, beobachten die Geburtsstätten von Sternen, reisen zu fernen Galaxien oder erspähen schwarze Löcher am Rand von Raum und Zeit.

Noch besteht das IRAM-Observatorium aus sieben Antennen mit jeweils 15 Metern Durchmesser. Obwohl die Anlage weltweit zu den besten und empfindlichsten Radioteleskopen zählt, genügt das den Forschern nicht: In den nächsten Jahren werden auf dem Gipfel fünf weitere 15-Meter-Schüsseln gebaut, neue Empfänger konstruiert und die Schienensysteme verlängert, auf denen sich die Teleskope dann bis zu 1,6 Kilometer voneinander entfernt positionieren lassen. NOEMA heißt das 45 Millionen Euro teure Projekt, NOrthern Extended Millimeter Array. Die Anlage soll ein neues Fenster zum Weltall öffnen und den Himmel mit zehnfach stärkerer Empfindlichkeit und vierfach besserer räumlicher Auflösung durchmustern als bisher.

Um dies alles zu erreichen, wollen die Wissenschaftler NOEMAs geballte Kraft nutzen. Dazu werden sie sämtliche Antennen auf ein astronomisches Objekt richten und die von ihnen empfangenen Millimeterwellen anschließend zur Überlagerung bringen. So erkennen sie noch Details vom Zehntausendstel jenes Winkels, unter dem der Vollmond am irdischen Firmament erscheint – tiefe Einblicke in das kosmische Räderwerk sind damit garantiert.



Inhalt



18 ALTERN

ZUM TITEL Praktisch alle Organismen und Lebewesen müssen sich dem natürlichen Alterungsprozess fügen. Wie aber läuft er ab? Die Forscher, über deren Arbeiten wir berichten, untersuchen dazu Fische oder einen Süßwasserpolypen, der fast Unsterblichkeit erreicht. Und sie setzen sich mit den sozialen Folgen des Alterns bei uns Menschen auseinander – wenn es nach einem aktiven Berufsleben in den Ruhestand geht.

PERSPEKTIVEN

ZUR SACHE

FOKUS

Titel: Marcell Miziker / shutterstock; Foto diese Seite: Christopher Robbins / Thinkstock (großes Bild), designergold nach einer Vorlage der MPG

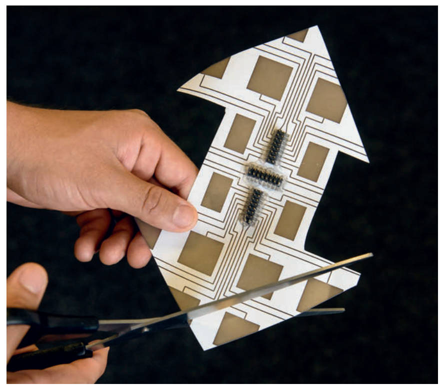
GEOMAX

Von Mao zur Marktwirtschaft – wie Forscher Chinas Aufstieg zur Weltmacht erklären





46 Gestartet: Am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik baut Stuart Parkin eine neue Abteilung auf.



54 Geschnitten: Mit der Schere lässt sich dieser Sensor in fast jede beliebige Form und Größe bringen.



60 Gesammelt: Im Jena-Experiment untersuchen Forscher, wie sich Artenvielfalt auf Ökosysteme auswirkt.

SPEKTRUM

PHYSIK & ASTRONOMIE

MATERIAL & TECHNIK

UMWELT & KLIMA

KULTUR & GESELLSCHAFT

RUBRIKEN

Fotos: Sven Doering, Oliver Dietze, Anna Schroll (von links nach rechts)

Einblicke und Austausch in Berlin

Jahresversammlung der Max-Planck-Gesellschaft mit Nobelpreisträger Stefan Hell und 700 Gästen



In Festlaune: Max-Plank-Präsident Martin Stratmann, Bundesforschungsministerin Johanna Wanka und Nobelpreisträger Stefan Hell (von links) bei der Jahresversammlung.

Die Festversammlung in der Großen Orangerie am Schloss Charlottenburg bildete Abschluss und Höhepunkt der zweitägigen Jahresversammlung der Max-Planck-Gesellschaft Mitte Juni. Präsident Martin Stratmann schlug in seiner Rede die Schaffung neuer, überregionaler Bildungs-und Forschungsnetzwerke vor (gekürzte Version ab Seite 10 dieser Ausgabe). Bundesforschungsministerin Johanna Wanka wiederum zog eine positive Bilanz der von der Bundesregierung aufgelegten Förderprogramme. Zum Schluss gab der 18. und jüngste Nobelpreisträger der Max-Planck-Gesellschaft, Stefan Hell, in einem Podiumsgespräch mit dem Wissenschaftsjournalisten Ranga Yogeshwar Einblicke in seinen durchaus steinigen Karriereweg.

Zuvor waren im frisch renovierten Harnack-Haus der Max-Planck-Gesellschaft Verwaltungsrat und Senat, die Direktorinnen und Direktoren sowie die Fördernden Mitglieder zu ihren Arbeitssitzungen und zu einem Sommerfest zusammengekommen. Mit Blick auf die Tradition des Tagungsortes sagte Präsident Stratmann: „Der Bau unterstreicht, wie wichtig Berlin als Ort des internationalen Wissenschaftleraustausches nach wie vor ist.“ Im Rahmen des Jahrestreffens wurde außerdem dem Max-Planck-Direktor Lothar Willmitzer mit dem Stifterverbandspreis 2015 ausgezeichnet.

Open-Access-Journale wechseln zu Springer

Living Reviews werden an starken Fachverlag angeschlossen

Mit den *Living Reviews* hat die Max-Planck-Gesellschaft im Jahr 1998 ein einzigartiges Modell wissenschaftlicher Veröffentlichungen gestartet: Die Beiträge werden von den Autoren bei Bedarf aktualisiert, also „lebendig“ gehalten, und veralten deshalb nicht wie andere Übersichtsartikel. Nun übernimmt Springer drei dieser Open-Access-Zeitschriften: *Living Reviews in Relativity*, *Living Reviews in Solar Physics* und *Living Reviews in Computational Astrophysics*. Für den Verlag ergänzen die Journale sowohl dessen Open-Access-Portfolio als auch andere sogenannte *Living*-Publikationen.

Laut Bruce Allen, Geschäftsführender Direktor des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik, ziehen auch die *Living Reviews* einen Vorteil aus der Anbindung an einen starken Verlag: „Die Zeitschriften bleiben Open Access, gleichzeitig wird sichergestellt, dass sie von neuen Entwicklungen des Publizierens profitieren und langfristig Erfolg haben.“ Die Max-Planck-Institute werden sich weiterhin bei den drei Journalen engagieren, vor allem über ihr Vorschlagsrecht bei der Zusammensetzung der Redaktionen.

Foto: Amac Garbe/MPG

„Chaperone versiegeln die Mülldeponien“

Franz-Ulrich Hartl erklärt, wie Proteinablagerungen im Gehirn die Zellen im Alter schützen

Sie galten lange Zeit als schädlich und als Auslöser für Alterskrankheiten wie Alzheimer, Parkinson und Chorea Huntington. Unter bestimmten Bedingungen können Proteinaggregate im Gehirn jedoch auch Altersprozesse verlangsamen. Wie dies funktioniert, erklärt Franz-Ulrich Hartl, Direktor am Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried.

Hat Sie erstaunt, dass Proteinablagerungen in Zellen auch nützlich sein können?

Franz-Ulrich Hartl: Ja sehr, obwohl es in der Literatur bereits Hinweise gab, dass diese nicht generell schädlich sind. Wissenschaftler haben ursprünglich angenommen, dass neurodegenerative Erkrankungen durch große, unlösliche Proteinaggregate, die man als Ablagerungen im Gehirn erkennt, ausgelöst werden. Bei der Untersuchung der Gehirne von Menschen, die im hohen Alter verstorben waren, zeigten sich jedoch relativ häufig erhebliche Proteinablagerungen, obwohl keine Demenzsymptome vorlagen.

Welche Proteinablagerungen sind schädlich?

In den vergangenen fünf Jahren ist immer klarer geworden, dass große Ablagerungen im Gehirn nicht grundsätzlich toxisch sind, sondern viel eher die kleineren Formen, sogenannte Oligomere. Wenn es den Zellen nicht gelingt, die Bildung von Proteinaggregaten von vornherein zu verhindern – und das scheint im Alter tatsächlich der Fall zu sein –, werden diese kleinen Formen in größere, unlösliche Aggregate zusammengefasst und an bestimmten Stellen in der Zelle gelagert. Das lässt sich mit einer Mülldeponie vergleichen. Auf diese Weise wird das Material, das sonst überall herumliegen würde, gesammelt und teilweise unschädlich gemacht.

Um diesen Prozess besser zu verstehen, haben Sie Fadenwürmer untersucht, kurz- und langlebige Tiere.

Der Fadenwurm *Caenorhabditis elegans* eignet sich sehr gut als Modellorganismus für den Alternsprozess. Sein Organismus besteht aus vielen Zellen und weist klare Organstrukturen auf, wie ein Nerven-, ein Muskel- und ein Darmsystem. Die Wissenschaftler können die Tiere über viele Generationen hinweg verfolgen und leicht mit ihnen genetisch experimentieren. Wir haben bei kurz- und langlebigen Tieren mehr als 5000 Proteine erfasst, und zwar zu mehreren Zeitpunkten während der Alterung. Dabei zeigte sich, dass die langlebigen Tiere – sie existierten durchschnittlich etwa 30 Tage – erhebliche Mengen von Proteinaggregaten in unlöslicher Form ansammelten. Bei den kurzlebigen Kontrollwürmern – sie lebten rund 14 Tage – fanden sich dagegen weniger Aggregate.

War die Zusammensetzung der Proteinablagerungen unterschiedlich?

Ja. Die Proteinaggregate der langlebigen Tiere waren besonders reich an Chaperonen. Sie helfen Zellen normalerweise dabei, Proteine richtig zu falten, sodass diese nicht verklumpen können. Darüber hinaus tragen sie dazu bei, dass fehlgefaltete Eiweiße von den Zellen abgebaut werden können. Wir gehen nun davon aus, dass die Chaperone zusätzlich die bereits entstandenen Mülldeponien versiegeln, indem sie an die aktive Oberfläche der Proteinaggregate binden. Wenn dies der Fall ist, könnten die toxischen Prozesse, die sich an der Oberfläche großer Proteinablagerungen abspielen, minimiert werden.

Welcher Mechanismus verbirgt sich dahinter?

Das ist noch nicht genau klar. Wahrscheinlich ist jedoch, dass eine besondere Klasse von Chaperonen dabei eine Rolle spielt: die kleinen Hitzeschockproteine. Bisher gingen Forscher immer davon aus, dass deren Funktion darin besteht, die Aggregation zu verhindern. Allerdings gab es in der Literatur auch schon Hinweise darauf, dass sie unter bestimmten Bedingungen die Aggregation auch antreiben und sogar fördern können. Da wir in den Aggregaten der langlebigen Würmer andere kleine Hitzeschockproteine gefunden haben als in den kurzlebigen, gehen wir davon aus, dass die Eigenschaften dieser Hitzeschockproteine etwas mit diesem Phänomen zu tun haben könnten.

Wie wollen Sie diesen Mechanismus klären?

Unter anderem mit einen biochemischen Ansatz. Wir wollen Extrakte von den langlebigen Würmern herstellen und diese dann zu den Extrakten kurzlebiger oder normaler Würmer geben. Interessant ist dann, ob wir im Reagenzglas ebenfalls eine verstärkte Bildung von Aggregaten auslösen können. Dann könnten wir aus diesen Extrakten den Wirkstoff isolieren und identifizieren. Da wir den Verdacht haben, dass dies etwas mit den kleinen Hitzeschockproteinen zu tun hat, werden wir diese natürlich besonders betrachten.



Franz-Ulrich Hartl

Sie forschen an chemischen Substanzen, die sich künftig als Medikamente gegen Alzheimer, Parkinson und Chorea Huntington eignen. Wenn die Proteinablagerungen aufgelöst werden, könnte sich dies nicht als kontraproduktiv – wenn nicht als gefährlich – erweisen?

Die molekularen Chaperone könnten dazu genützt werden, die Bildung von toxischen Aggregaten zu verhindern oder diese zu verlangsamen. Dabei geht es weniger darum, dass bereits entstandene, große Aggregate wieder aufgelöst werden. Denn da müsste man in der Tat sehr vorsichtig sein. Sonst besteht die Gefahr, dass wieder toxische Formen erzeugt werden. Denkbar wäre es auch, einen Prozess zu aktivieren, der verstärkt Oligomere in größere Aggregate zusammenzieht. Sollte es in Zukunft eine medikamentöse Therapie geben, müsste man mit einer Behandlung früh beginnen, da die zellulären Schutzmechanismen im Alter immer schwächer greifen.

Interview: Barbara Abrell

Foto: Axel Griesch



Sicherer Vertrag, gute Betreuung, klare Perspektive

Die Max-Planck-Gesellschaft setzt neue Standards in der Nachwuchsförderung

Im Wettbewerb um die talentiertesten Jungforscher hat die Max-Planck-Gesellschaft die Förderstrukturen für Doktorandinnen und Doktoranden neu aufgestellt: Seit Juli 2015 erhalten sie ausschließlich Promotionsförderverträge, welche die wissenschaftliche Freiheit eines Stipendiums mit der Sicherheit eines Arbeitsvertrags verbinden. Auch ein Großteil der Postdocs bekommt eine Anstellung. Die Umstellung von Stipendien auf Verträge lässt sich die Max-Planck-Gesellschaft im Endausbau jährlich fast 50 Millionen Euro kosten, die Nachwuchsfördermittel werden dafür um rund 40 Prozent angehoben.

„Mit diesen Maßnahmen schaffen wir die Grundlage für eine wettbewerbsfähige Nachwuchsförderung", sagt Max-Planck-Präsident Martin Stratmann. „Die Finanzierung wird teurer – aber das heißt ja nichts anderes, als dass uns der Nachwuchs etwas wert ist." Zudem gelten von sofort an neue Richtlinien für die Doktorandenausbildung, mit denen unter anderem der Zeitrahmen für die Promotion klarer geregelt sowie Betreuung und Fortbildungsmöglichkeiten für die jungen Wissenschaftler verbessert werden sollen.

Weitere Informationen: www.mpg.de/karriere

Gute Aussichten: Mitarbeiter des Max-Planck-Instituts für chemische Energiekonversion posieren für ein Gruppenbild für die institutseigene Karrierewebseite.

Physik bis zum Umfallen

Jugend forscht – die Max-Planck-Gesellschaft gratuliert

Lässt sich ein Roboter bauen, der stabil auf nur einem Bein steht und sich springend fortbewegt? Dieser Frage ging Anselm von Wangenheim am Schülerforschungszentrum Kassel nach. Mittels aufwendiger Simulationen konnte der 18-Jährige zeigen, dass es physikalisch möglich ist, solch einen Monopod zu konstruieren. Auch experimentell ist der Schüler erfolgreich: Mit Schaschlikspießen, Holzleim und Sensoren gelang ihm der Bau eines Duopods, eines Roboters mit zwei Beinen.

Die Jury beim 50. Bundeswettbewerb Jugend forscht war beeindruckt, wie der junge Forscher die anspruchsvolle Regelungstechnik eigenständig eingesetzt hat. Sein Projekt sei ein Beispiel, wie ein theoretisches Konzept im Detail ausgearbeitet und dann schlüssig bis zur praktischen Demonstration verfolgt werden kann, heißt es in der Laudatio. Daher sprachen die Juroren Anselm von Wangenheim den ersten Preis im Fachgebiet Physik zu. Max-Planck-Vizepräsident Ferdi Schüth überreichte in Ludwigshafen die Urkunde. Die Max-Planck-Gesellschaft stiftet seit Jahren in der Sparte Physik das Preisgeld für die Gewinner.



Ausgezeichnet: Max-Planck-Vizepräsident Ferdi Schüth (links) mit dem Gewinner im Fach Physik, Anselm von Wangenheim.

Fotos: Gisela Lubitz/MPG (oben); Jugend forscht

Süße Impfstoffe auf dem Weg in die Anwendung

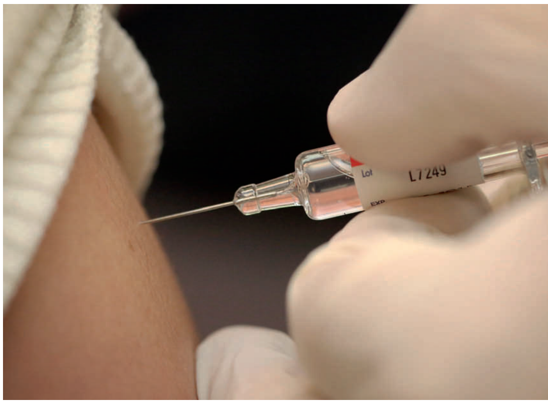
Start-up soll Forschungsergebnisse zur Marktreife bringen

Vaxxilon heißt das neue Unternehmen, das die Max-Planck-Gesellschaft gemeinsam mit der Schweizer Pharmafirma Actelion gegründet hat. Es soll Impfstoffe erforschen, entwickeln und vermarkten, die auf sogenannten Glykanen basieren – natürliche Mehrfachzucker, die in vielen Zellvorgängen eine wichtige Rolle spielen. Für Impfstoffe werden solche Glykane bisher von gezüchteten Bakterien erzeugt, was die Herstellung kompliziert und in vielen Fällen unmöglich macht.

Das Team um Peter Seeberger, Direktor am Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung, hat die wissenschaftliche Grundlage für die komplett synthetische Herstellung von Glykanen gelegt. Damit lassen sich neue Impfstoffe herstellen – auch gegen Bakterien, die nicht gezüchtet oder deren Zucker nicht isoliert werden können. Vaxxilon soll dieses Potenzial ausschöpfen. Mit einer Finanzierungszusage von bis zu 30 Millionen Euro ist Actelion Hauptinvestor und Hauptgesellschafter von Vaxxilon. Die ersten Studien am Menschen mit einem neuen Impfstoff sind in den kommenden drei Jahren geplant.

Interview zum Thema unter:

http://www.mpg.de/wissenstransfer/interview-erselius-2015



Schützender Piks: Zucker macht eine Impfung nicht nur süß – manche Impfstoffe verdanken sogenannten Mehrfachzuckern ihre Wirkung.

Ins Netz gegangen

Deutschland geht ein Licht auf
Hätten Sie gewusst, dass Blaumeisen durch künstliches Licht häufiger fremdgehen? Oder dass mithilfe von Licht abhörsicher kommuniziert werden kann? Antworten auf diese und weitere spannende Fragen rund um das Thema Licht finden Sie auf der neuen Aktionsseite der Max-Planck-Gesellschaft. Zum Internationalen Jahr des Lichts stellen verschiedene Max-Planck-Institute ihre Forschung zum Thema Licht vor. Zudem ist jeder dazu eingeladen, an einem Light-Painting-Wettbewerb teilzunehmen oder sich an Diskussionen im Blog zu beteiligen.
www.deutschland-geht-ein-licht-auf.de

Die Konstruktion des Lebens
In dem neuen Netzwerk MaxSynBio bündelt die Max-Planck-Gesellschaft ihre Kompetenzen im Bereich synthetische Biologie. In der noch recht jungen Disziplin beschränken sich Biologen nicht mehr darauf, Organismen und die Prozesse des Lebens zu beobachten. Vielmehr wollen sie gemeinsam mit Ingenieuren, Physikern und Chemikern biologische Systeme konstruieren wie etwa einfache Zellen, die biologische Funktionen nachahmen. Damit betreten sie in wissenschaftlicher, ethischer und rechtlicher Hinsicht Neuland. Neun Max-Planck-Institute beteiligen sich an MaxSynBio, dessen Forschung, Chancen und Risiken auf unserem neuen Themenportal anschaulich erklärt werden.
www.synthetische-biologie.mpg.de

Der sechste Sinn der Tiere
Die Tiere auf unserer Erde sind ständig in Bewegung – die einen fliegen, schwimmen oder wandern Tausende Kilometer, andere bewegen sich nur wenige Hundert Meter. Eines haben sie jedoch alle gemein: Über ihre Reisen ist kaum etwas bekannt. Icarus, ein Projekt des Max-Planck-Instituts für Ornithologie in Radolfzell, soll das in den nächsten Jahren ändern. Mit dem Wissen über die Tiere können wir auch viel über den Zustand unseres Planeten und über mögliche Naturkatastrophen lernen. Verfolgen Sie den Achterbahnflug von Streifengänsen über den Himalaya, wie Elefanten sich vor Tsunamis in Sicherheit bringen oder Ziegen am Ätna vor Vulkanausbrüchen warnen.
www.tiersensoren.mpg.de

Foto: dpa

Wir müssen Exzellenz **neu bündeln**

Wie können wir die vorhandenen Exzellenzpotenziale in Deutschland besser nutzen, um die deutsche Spitzenforschung im internationalen Wettbewerb noch weiter voranzubringen? Spitzenforschung und gute Breitenausbildung stehen dabei nicht im Widerspruch – auch wenn sie sich in Deutschland immer noch in einem Spannungsfeld befinden, meint unser Autor, Präsident der Max-Planck-Gesellschaft.

TEXT **MARTIN STRATMANN**

Bildung ist das Fundament, auf dem Forschung aufbaut. Ein erfolgreiches Bildungs- und Forschungssystem muss daher gleichzeitig zwei Aufgaben erfüllen: Erstens muss es den Zugang zu bestmöglicher Hochschulbildung für viele gewährleisten. Und zweitens muss es sicherstellen, dass besonders begabte Studenten und angehende Wissenschaftler ein Umfeld vorfinden, das ihre Fähigkeiten zum Wohle der Gesellschaft voll zur Entfaltung bringt. Im Ergebnis entsteht Spitzenforschung.

> Im Spannungsfeld von Breite und Spitze muss man produktiv agieren

Breite und Spitze – das kennen wir alle vom Sport und haben es dort gesellschaftlich akzeptiert. Breitensport und Hochleistungssport sind keine Gegensätze, sondern bedingen sich gegenseitig. Den Deutschland-Achter zur Goldmedaille zu führen gelingt eben nicht unter den Bedingungen des Breitensports, sondern bedarf besonderer Leistungszentren. Diese wiederum sind auf den Talentpool des Breitensports angewiesen.

Breite und Spitze – dieses Spannungsfeld kennt auch jedes Wissenschaftssystem und muss produktiv damit umgehen, um erfolgreich zu sein. Das verlangt – genau wie im Sport – strukturelle Vielfalt und Differenzierung. Den Zugang zur Hochschulbildung für viele haben etwa die Vereinigten Staaten schon sehr früh durch eine vertikale Erweiterung ihres Universitätssystems verwirklicht: Fast 80 Prozent der Hochschulen und Colleges nahezu ohne Promotionsrecht stehen etwas mehr als 20 Prozent der Universitäten mit Promotionsrecht gegenüber. >

Netzwerk der Besten: Wissenschaftliche Exzellenz – in der Abbildung das eine Prozent der meistzitierten Wissenschaftler – ist in Deutschland breit verteilt. Das hat positive Konsequenzen: Leistung wird an zahlreichen Orten erbracht, die wissenschaftsnahe Ausbildung von Studenten ist an vielen Orten auch im internationalen Vergleich sehr gut. Um Sichtbarkeit herzustellen, schlägt Martin Stratmann vor, die räumlich verteilte Exzellenz in überregionalen Netzwerken zu bündeln und die Knotenpunkte dieser Netzwerke an den Exzellenzstandorten der deutschen Wissenschaft zu verankern.

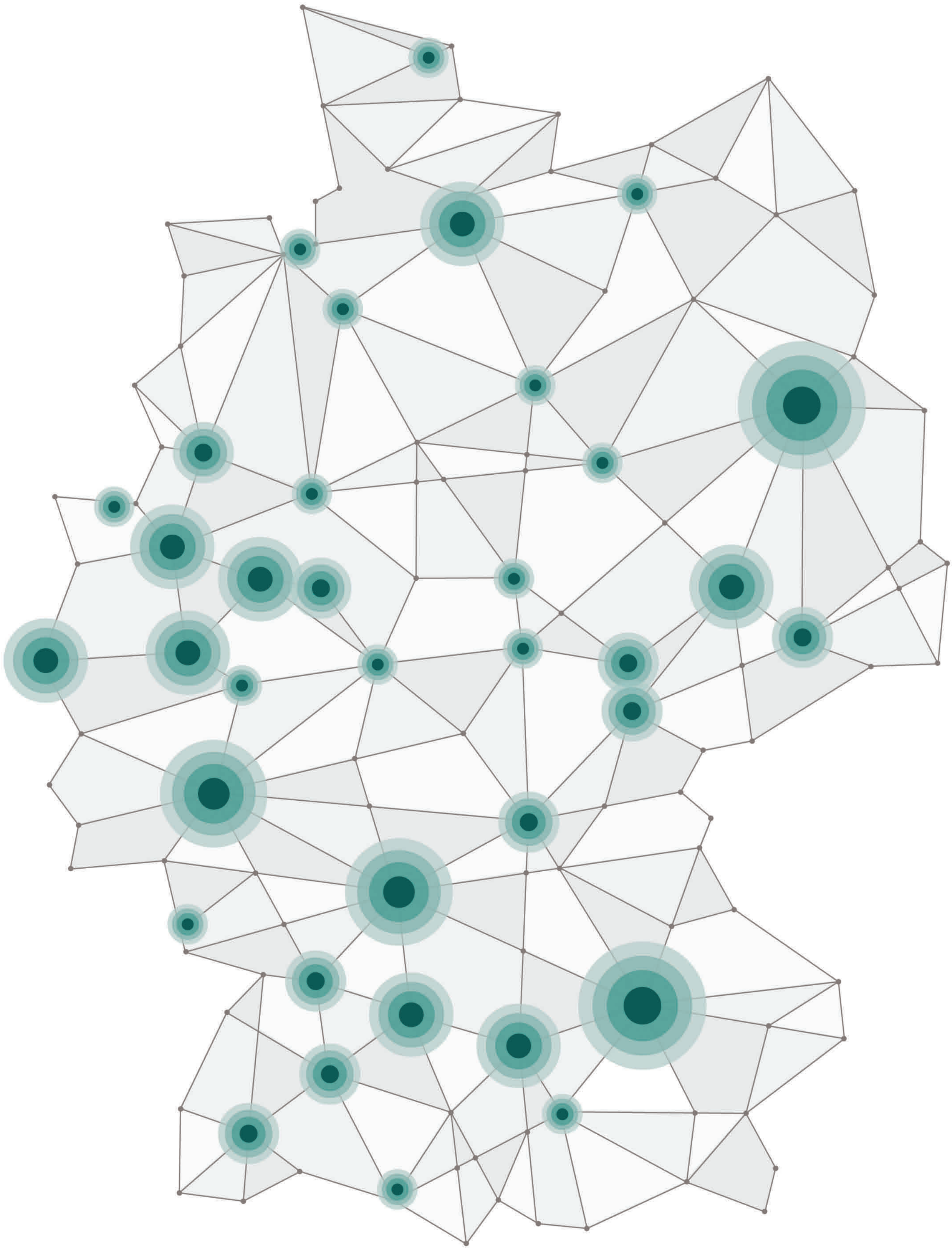


Foto: designergold nach einer Vorlage der MPG

Aus diesen rund 1000 Hochschulen in den USA hebt sich wiederum eine kleine Gruppe von Forschungsuniversitäten heraus, an denen die weit überwiegende Zahl der Promotionen durchgeführt wird und die eben nicht in der Breite ausbilden. Es gelingt dieser Spitzengruppe, sich neben exklusiver Lehre erfolgreich auf exzellente Forschung zu konzentrieren und Studenten und Wissenschaftler aus der ganzen Welt anzuziehen. Im Gesamtsystem der 4600 Einrichtungen macht diese Gruppe aber gerade einmal etwas mehr als zwei Prozent aus.

Auch das deutsche System steht spätestens seit den 1960er-Jahren vor der Herausforderung, den Zugang zur Hochschulbildung für sehr viele Studenten zu öffnen und gleichzeitig eine im internationalen Maßstab wettbewerbsfähige Forschungsleistung aufrechtzuerhalten. Anders als die USA hat Deutschland den Zugang zur Hochschulbildung durch eine massive horizontale Erweiterung des Universitätssystems ermöglicht. Es wurden viele Universitäten nach demselben Muster geschaffen, sodass heute mehr als 100 Universitäten mit Promotionsrecht existieren, die sich in ihrem Aufbau prinzipiell nur wenig unterscheiden und alle mit der Aufnahme großer Studentenzahlen zurechtkommen müssen.

Deutschland hat es versäumt, einen breiteren Zugang zur Hochschulbildung durch eine stärkere Fächerung der Institutionen und vielleicht auch den

Die außeruniversitäre Landschaft ist vielfältig

Ausbau der Fachhochschulen sicherzustellen. Breiten- und Spitzenausbildung – mit diesem Spannungsfeld hat sich die Bundesrepublik erst im Zuge der Exzellenzinitiative wirklich auseinandergesetzt. In der Forschung hingegen sieht es etwas anders aus. Hier gibt es neben den Universitäten eine vielfältig gegliederte außeruniversitäre Landschaft. Mit ihrer Mission der Spitzenforschung ist die Max-Planck-Gesellschaft ein essenzieller Bestandteil dieser strukturellen Vielfalt. Bei uns finden herausragende Wissenschaftler Arbeitsbedingungen, wie sie sonst nur führende internationale Universitäten bieten können.

Wo aber steht die deutsche Wissenschaft heute insgesamt im internationalen Vergleich? Um diese Frage zu beantworten, möchte ich zunächst den Forschungsstandort Deutschland analysieren und den USA, Großbritannien und den Niederlanden gegenüberstellen. Die vier Länder sind alle unterschiedlich groß. Um die spezifischen Leistungen, die ein Land vom Weltdurchschnitt abheben, vergleichen zu können, werde ich die Kennzahlen normieren. Basis ist immer der Anteil des Landes an der Weltbevölkerung. Davon ausgehend, stellt sich die Frage: Um welchen Faktor leistet ein Land mehr, als es seinem Anteil an der Weltbevölkerung entsprechen würde? Diesen Faktor möchte ich „Leistungsindikator“ nennen.

Weil gute Forschung ein solides finanzielles Fundament braucht, beginne ich mit wenigen wirtschaftlichen Zahlen. Die USA stellen etwa viereinhalb Prozent der Weltbevölkerung und 22 Prozent des weltweiten Bruttosozialprodukts. Sie sind mit einem Leistungsindikator von 5 wirtschaftlich fünfmal so erfolgreich, wie es ihrem Anteil an der Weltbevölkerung entsprechen würde. Gleichzeitig stellen sie etwa 30 Prozent der weltweit verfügbaren Ressourcen in Forschung und Entwicklung. Bezogen auf den amerikanischen Anteil an der Weltbevölkerung, ist dies das Sechsfache des weltweiten Durchschnitts.

Die deutschen Zahlen sind ähnlich: Mit einem Leistungsindikator von 4,5 sind wir viereinhalbmal so erfolgreich, wie es unserem Bevölkerungsanteil entsprechen würde. Und wir investieren, wie die USA, etwa sechsmal mehr in Forschung und Entwicklung. Großbritannien und die Niederlande reihen sich hier ein. Wir können also festhalten: Alle genannten Länder sind, gemessen an ihrer Bevölkerungszahl, wirtschaftlich in etwa vergleichbar erfolgreich und investieren überdurchschnittlich in Forschung und Entwicklung. Sie investieren damit bewusst in einen wissenschaftlichen und am Ende auch wirtschaftlichen Wettbewerb.

Die entscheidende Frage lautet nun: Was leisten die Länder mit den Mitteln, die sie investieren? Wie erfolgreich sind sie wissenschaftlich, im Vergleich zu den anderen? Eine detaillierte Antwort auf diese pauschale Frage bedürfte selbstverständlich einer umfassenden Analyse, für die an dieser Stelle kein Raum ist. Ich möchte die Frage nach der Leistung des deutschen Wissenschaftssystems daher durch eine Analyse des Publikationsverhaltens beantworten – wohl

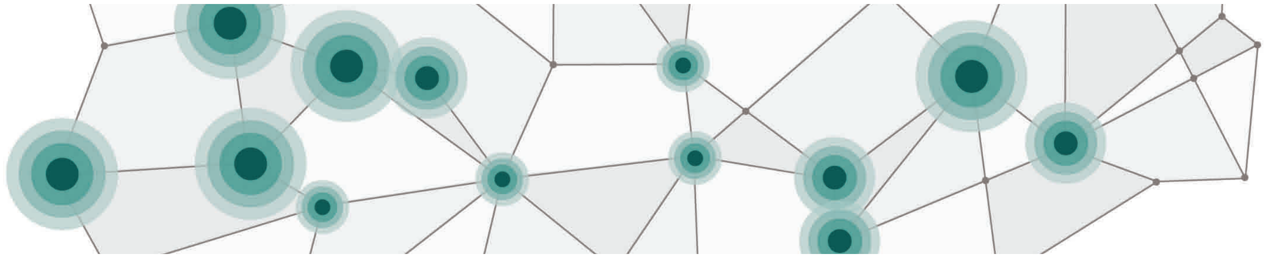


Foto: designergold nach einer Vorlage der MPG

wissend, dass damit nicht allen Fächern Rechnung getragen wird. Trotzdem ist eine solche Analyse hinreichend aussagekräftig, was die Stellung der deutschen Spitzenforschung im internationalen Wissenschaftssystem anbelangt.

Wie gut schaffen es die genannten vier Länder, ihre Investitionen in wissenschaftlichen Output umzusetzen? Beginnen wir mit der Analyse der Gesamtzahl der Veröffentlichungen: Die USA produzieren etwa 22 Prozent aller wissenschaftlichen Publikationen weltweit. Bezieht man dies auf die Zahl der Einwohner, dann sind sie um den Faktor 5 erfolgreicher, als es ihrem Anteil an der Weltbevölkerung entspräche. Großbritannien ist etwas erfolgreicher, Deutschland etwas weniger erfolgreich und die Niederlande – gemessen an ihrer Größe – erstaunlich erfolgreich. Man könnte die Schlussfolgerung ziehen: Die Quantität wird durch die Finanzausstattung bestimmt.

Sehen wir uns nun den Anteil der Publikationen an, die zu den zehn Prozent der meistzitierten ihres Fachs gehören: Die USA haben einen Leistungsindikator von 7, Großbritannien ebenso; Deutschland schafft einen Indikatorwert von 6. Und die Niederlande stehen mit einem Wert von 10 an der Spitze.

Betrachten wir den Anteil derjenigen Publikationen, die zu dem einen Prozent der meistzitierten gehören, schaffen die USA einen Leistungsindikator von 8,4; Großbritannien liegt nur knapp dahinter. Deutschland erreicht einen Indikatorwert von 5,7. Die Niederlande – wieder mit einem Indikatorwert von 10 – zeigen, dass man auch mit weniger Geld sehr viel erreichen kann! Diese „Pyramide der Publikationsexzellenz" wird umso steiler, je erfolgreicher sich ein Land auf die Qualität des wissenschaftlichen Outputs konzentriert, je bekannter und einflussreicher die führenden Wissenschaftler des Landes sind.

An der Spitze findet sich schließlich die Anzahl derjenigen Wissenschaftler, welche die meisten der Top-ein-Prozent-Publikationen in ihrer Disziplin veröffentlicht haben. Eine besonders wichtige Zahl, denn Wissenschaft wird immer noch von Köpfen gemacht, und ein Land, das diese Köpfe anzieht, hat einen echten Standortvorteil.

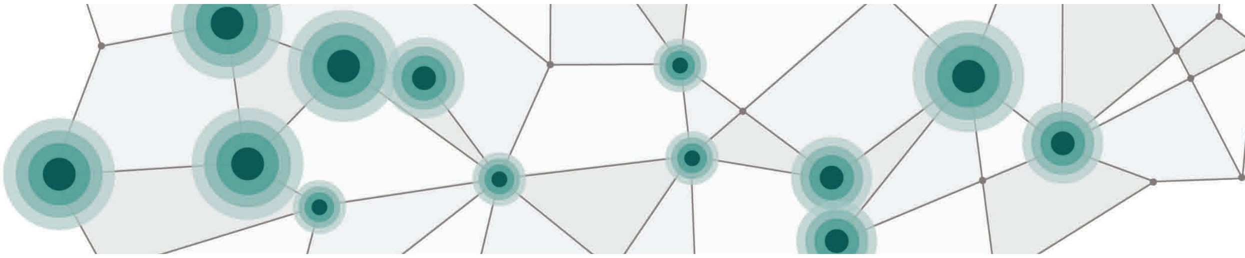
3215 Wissenschaftler zählen derzeit zu dieser kleinen weltweiten Spitze, und mehr als die Hälfte von ihnen (1701) forscht in den USA – ein erheblicher Teil ist übrigens zugewandert! Bezogen auf die Zahl der Einwohner, beherbergen die USA damit 11,5-mal mehr Spitzenforscher, als es ihrem Anteil an der Weltbevölkerung entsprechen würde. Großbritannien bringt es auf einen Leistungsindikator von 10, die kleineren Niederlande schaffen ebenfalls einen Indikator von 10. Und Deutschland? Ist in diesem Feld abgeschlagen mit einem Leistungsindikator von 4,5. Trotz seiner Größe hat unser Land insgesamt nur 164 Wissenschaftler dieser Klasse, im Vergleich zu 303 in Großbritannien und 76 in den Niederlanden.

Bei sehr vergleichbaren Ausgangsdaten schwächelt Deutschland also an der Spitze. Die Exzellenzinitiative war und ist deshalb richtig und notwendig. Sie muss da angreifen, wo unser größtes Defizit besteht: in der mangelnden Exzellenz im Vergleich zu unseren härtesten internationalen Konkurrenten. Deshalb muss die Exzellenzinitiative sich als das bewähren, was der Name verspricht: eine Initiative zur Verbesserung der Exzellenz der deutschen Forschung!

Aber die Förderung von Spitzenforschung in Deutschland kann auch Erfolge vorweisen. Das zeigt unter anderem die zeitliche Entwicklung der einzelnen Stufen der Exzellenzpyramide. So konnte Deutschland in den vergangenen zehn Jahren seinen Leistungsindikator im Bereich des einen Prozents meistzitierter Publikationen um 16 Prozent steigern, während unsere wichtigsten Konkurrenten an Dynamik verloren haben: So ist in Großbritannien der Indikator um fünf Prozent gesunken, in den Vereinigten Staaten sogar um 24 Prozent. In absoluten Zahlen bleiben beide jedoch weiterhin weit vor Deutschland platziert.

Im internationalen Vergleich schwächelt Deutschland ganz oben

Die Programme der Exzellenzinitiative sollten daher fortgeführt werden. Das wird die Universitäten stärken und handlungsfähiger machen. Erfolgreiches wird nicht frühzeitig beendet, sondern langfristig stabilisiert. Hierzu haben die Deutsche Forschungsgemeinschaft und der Wissenschaftsrat bereits programmatische Vorschläge gemacht. Darüber hinaus ist es aber wichtig, die strukturelle Weiterentwicklung der Universitäten nicht aus den Augen zu verlieren. Denn der Vergleich mit unseren nieder-



ländischen Nachbarn zeigt: Wir haben in Deutschland nicht nur ein Problem der finanziellen Grundausstattung unserer Universitäten, wir haben auch ein Effizienzproblem.

Über zusätzliches Personal für die Universitäten wird derzeit viel gesprochen. Ja: Zusätzliches Personal kann segensreich wirken. Wenn wir allerdings mit zusätzlichem Personal auch die Verstärkung der universitären Spitzenforschung im Blick behalten wollen, müssen wir berücksichtigen: Wirkliche Exzellenz ist rar. Die Max-Planck-Gesellschaft schafft derzeit etwa 15 Spitzenberufungen pro Jahr. Und selbst diese überschaubare Anzahl hält uns alle ziemlich in Atem!

Wir müssen also aufpassen, dass nicht in großer Eile viele Stellen dauerhaft vergeben werden und dabei letztlich nur Mittelmaß zementiert wird. Das würde unsere Universitäten langfristig schwer treffen. Die Universitäten brauchen herausragende Köpfe, um international sichtbar zu sein. Spitzenwissenschaftlerinnen und Spitzenwissenschaftler sind hoch mobil und gehen dahin, wo Rahmenbedingungen und Reputation stimmen. Zu den Rahmenbedingungen gehört nicht nur die finanzielle Ausstattung, dazu gehört ebenso ein großes Reservoir herausragender Studenten – die Basis für jeden wissenschaftlichen Erfolg.

Nimmt man die Ziele der Exzellenzinitiative weiterhin ernst, dann müssen wir diese Rahmenbedingungen in Deutschland bieten und neue Stellen gezielt auch an der Spitze schaffen – dort, wo es eben mangelt. Das braucht Zeit und vielleicht auch neue Konzepte! Der Aufbau von Exzellenz an der Spitze unserer Pyramide erfordert, dass wir die besten Wissenschaftler nicht in andere Länder abwandern lassen und dass wir gleichzeitig aus anderen Ländern herausragende Köpfe nach Deutschland locken.

Schon in der jetzigen Exzellenzinitiative (ExIN) arbeiten die besten Köpfe der Max-Planck-Gesellschaft mit den besten Köpfen an den Universitäten sehr erfolgreich zusammen: Fast die Hälfte unserer Direktoren sind heute als *Principal Investigator* in einer ExIn-Graduiertenschule beteiligt; bei den Exzellenzclustern sind es beinahe zwei Drittel. Dennoch schöpfen diese überwiegend lokalen Netzwerke das Potenzial an exzellenter deutscher Wissenschaft nicht voll aus. Wie können wir hier gemeinsam noch mehr erreichen?

Um eine Antwort auf diese Frage zu finden, lohnt sich ein Blick auf die institutionelle und räumliche Verteilung der meistzitierten Wissenschaftler in Deutschland. Wo arbeiten die Forscher, die an der Spitze der Exzellenzpyramide ihrer Disziplin stehen? Die Hälfte an deutschen Universitäten (81), ein Drittel bei der Max-Planck-Gesellschaft (52); der Rest verteilt sich auf diverse andere Organisationen. Bei der geografischen Verteilung führt der Großraum München mit 27 meistzitierten Wissenschaftlern, gefolgt von den Großräumen Berlin und Heidelberg mit jeweils 16. Keiner dieser Räume kann sich aber allein mit wissenschaftlichen Hotspots wie etwa der Boston Area messen.

Die fachspezifische Exzellenz ist in Deutschland überregional verteilt und bündelt sich nicht an einem einzelnen Ort. Würde man die räumliche Verteilung der meistzitierten Wissenschaftler aller Disziplinen übereinanderlegen, wäre man wieder am Anfang und würde die Standorte besonderer Leistungsdichte erkennen. Hier sind die Knotenpunkte zwischen den wissenschaftlichen Disziplinen beheimatet. Diese Erkenntnis ergibt sich nicht nur aus dieser sehr spezifischen Publikationsanalyse, der Förderatlas der Deutschen Forschungsgemeinschaft zeichnet ein sehr ähnliches Bild von dieser überregionalen disziplinären Verteilung und der regionalen interdisziplinären Konzentration.

Die besten Wissenschaftler dürfen wir nicht abwandern lassen

Wie können wir diese in Deutschland bereits vorhandene, räumlich verteilte Exzellenz produktiv zusammenbringen? Wie können wir die individuelle Sichtbarkeit der besten deutschen Wissenschaftler auf kluge Weise bündeln, damit die dabei entstehende Struktur nicht nur die weltweit besten Kollegen, sondern auch die weltweit besten Doktoranden nach Deutschland lockt? Wie schaffen wir es, Rahmenbedingungen an deutschen Universitäten für herausragende Berufungen zu etablieren?

Wenn sich führende Wissenschaftler der Max-Planck-Gesellschaft mit führenden Kollegen der Universitäten auf zukunftsträchtigen Gebieten zusammentun, dann entstehen überregionale Bildungs- und Forschungsnetzwerke – lassen Sie mich diese einmal Schools nennen –, die mit den Top-Einrichtungen der

Foto: designergold nach einer Vorlage der MPG

Welt konkurrieren können. Die Knotenpunkte dieser Netzwerke wären an den Exzellenzstandorten der deutschen Wissenschaft verankert und würden sie einbeziehen. Universitätsstandorte würden dadurch weiter gestärkt; die besten Professorinnen und Professoren als Leistungsträger der universitären Spitzenforschung wären in diesen Schools international noch sichtbarer.

Solche überregionalen, themenzentrierten Max Planck Schools könnten eine im weltweiten Vergleich herausragende Graduiertenausbildung bieten. Fächerübergreifende Zukunftsthemen müssten nicht notwendigerweise an universitäre Disziplinen gebunden sein. Ich bin überzeugt: Derartige Schools würden die besten Studenten und Doktoranden aus Deutschland und dem Ausland anziehen – und sie auch in unserem Land halten.

Das kann gelingen über Tenure-Track-Pfade innerhalb der beschriebenen Schools, durch die wir über die Doktorandenebene hinaus attraktive Plätze für den besten wissenschaftlichen Nachwuchs in Deutschland schaffen. Damit würden wir etwas Essenzielles erreichen: neue Personalstellen im Nachwuchsbereich, verbunden mit dem hohen Anspruch an Exzellenz.

Der Schlüssel zur Stärkung der Exzellenz an der Spitze wäre aus meiner Sicht schließlich, dass wir durch das überregionale Netzwerk einer Max Planck School ein tragfähiges Umfeld für erfolgreiche Neuberufungen aus dem Ausland schaffen; und dies nicht nur für die Max-Planck-Gesellschaft, sondern auch für die mit uns kooperierenden Universitäten. Schon jetzt ist die Alexander von Humboldt-Professur attraktiv – wie attraktiv wäre sie erst im Umfeld einer School an der internationalen Spitze?

Der internationale Wettbewerb – ob in Wirtschaft oder Wissenschaft – ist zuallererst ein Wettbewerb um Köpfe. Hier müssen wir mit attraktiven Angeboten und einem exzellenten Umfeld anschlussfähig bleiben. Nehmen wir nur als ein Beispiel die moderne Kognitionsforschung, die einen Bogen von der Hirnforschung über die Sprachforschung und Psychologie bis hin zur Robotik und Informatik spannt. Das sind Gebiete, die auch die wirtschaftliche Zukunft unseres Landes bestimmen werden. Nur wem es gelingt, die besten Professorinnen und Professoren und die besten Studierenden ins Land zu holen und ihnen hier Aufstiegschancen zu bieten, wird an dem wirtschaftlichen Erfolg teilhaben. ◂

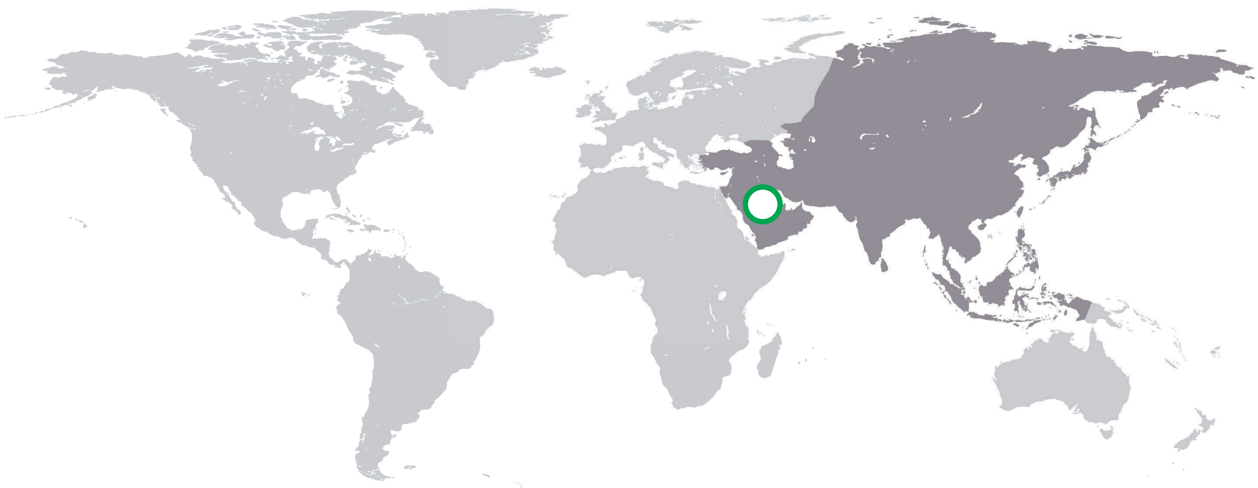


Foto: Axel Griesch

DER AUTOR

Martin Stratmann, Jahrgang 1954, studierte Chemie an der Ruhr-Universität Bochum. Seine Promotion schloss er 1982 am Max-Planck-Institut für Eisenforschung ab. Nach einer Postdoc-Station in den USA wurde er Gruppenleiter am Max-Planck-Institut für Eisenforschung. Er habilitierte sich an der Universität Düsseldorf und lehrte anschließend von 1994 bis 1999 an der Universität Erlangen-Nürnberg. Im Jahr 2000 nahm er den Ruf zum Wissenschaftlichen Mitglied und Direktor am Max-Planck-Institut für Eisenforschung an. Er erhielt viele Preise, darunter 2005 den U. R. Evans Award des britischen Institute of Corrosion. Seit Juni 2014 ist Martin Stratmann Präsident der Max-Planck-Gesellschaft.

Der Beitrag ist eine gekürzte Fassung der Rede, die Martin Stratmann im Juni 2015 auf der Hauptversammlung der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin gehalten hat.



Alte Traditionen in einer neuen Welt

Max-Planck-Wissenschaftler kooperieren mit Partnern in rund 120 Ländern dieser Erde. Hier schreiben sie über persönliche Erlebnisse und Eindrücke. Die Quantenphysikerin Nora Kling hat während eines Besuchs im Laserlabor in Riad eine neue, faszinierende Welt kennengelernt.

Normalerweise hätte ich nie im Leben daran gedacht, für meine Forschung nach Saudi-Arabien zu gehen. Fast alles, was ich über das Land wusste, stammte aus Medienberichten. Daher war ich zunächst eher ängstlich: Das Leben dort schien so anders zu sein. Aber gleich in meiner ersten Woche am neu gegründeten Laserlabor an der König-Saud-Universität, die mit dem Max-Planck-Institut für Quantenoptik und der Ludwig-Maximilians-Universität zusammenarbeitet, fiel mir auf, wie respektvoll und höflich die Menschen sind. Sogar so höflich, dass ich während meines Aufenthalts kaum mit anderen Studierenden auf dem Campus gesprochen habe: Denn während es für uns aus westlichen Ländern selbstverständlich ist, auf Fremde zuzugehen und ihnen Fragen zu stellen, gilt das in Saudi-Arabien als aufdringlich.

Durch meine Kindheit auf einem Bauernhof in South Dakota bin ich sehr bodenständig und unabhängig aufgewachsen. Während meines Studiums der Naturwissenschaften an der Universität und auch später an den Max-Planck-Instituten habe ich stets eine offene Atmosphäre erlebt. Ich konnte meine wissenschaftlichen Fähigkeiten völlig unabhängig von Geschlechterrollen entwickeln. Vor diesem Hintergrund ist für mich die Trennung von Mann und Frau in der arabischen Öffentlichkeit eher befremdlich. Besonders merkwürdig finde ich das Autofahrverbot für Frauen.

Die Trennung der Geschlechter zieht sich auch durch das Alltagsleben. In einigen Restaurants gibt es eigene „Familienbereiche“ mit durch Samtvorhänge abgeteilten Séparées. Dort können Frauen ungestört ihren Gesichtsschleier abnehmen und zusammen mit Familie und Freunden das Essen genießen – das übrigens wirklich fantastisch ist. Gastfreundschaft hat eine lange Tradition in Saudi-Arabien und spielt eine sehr große Rolle in der Kultur. Für uns Kooperationspartner aus Deutschland haben aufmerksame Universitätsmitarbeiter extra eine neue Toilette gebaut, die westlichen Standards entspricht.





Nora Kling, 32, untersucht ultraschnelle, lichtinduzierte Bewegungen von Elektronen und Atomkernen innerhalb von Molekülen. Die Amerikanerin studierte Chemie und Mathematik, belegte aber darüber hinaus Physikvorlesungen, die es ihr ermöglichten, an der Kansas State University in Physik zu promovieren: über die Entwicklung eines bildgebenden Verfahrens, welches die ultraschnellen Wechselwirkungen zwischen Laserlicht und Ionen in Molekülen analysiert. Als externe Fulbright-Stipendiatin und Gast der Max-Planck-Gesellschaft konnte sie ihr Promotionsprojekt bereits zwei Jahre lang am Max-Planck-Institut für Quantenoptik bearbeiten, bevor sie 2014 als Postdoktorandin zu Ferenc Krausz ans MPI und an das Labor für Attosekundenphysik der LMU in Garching zurückkam.

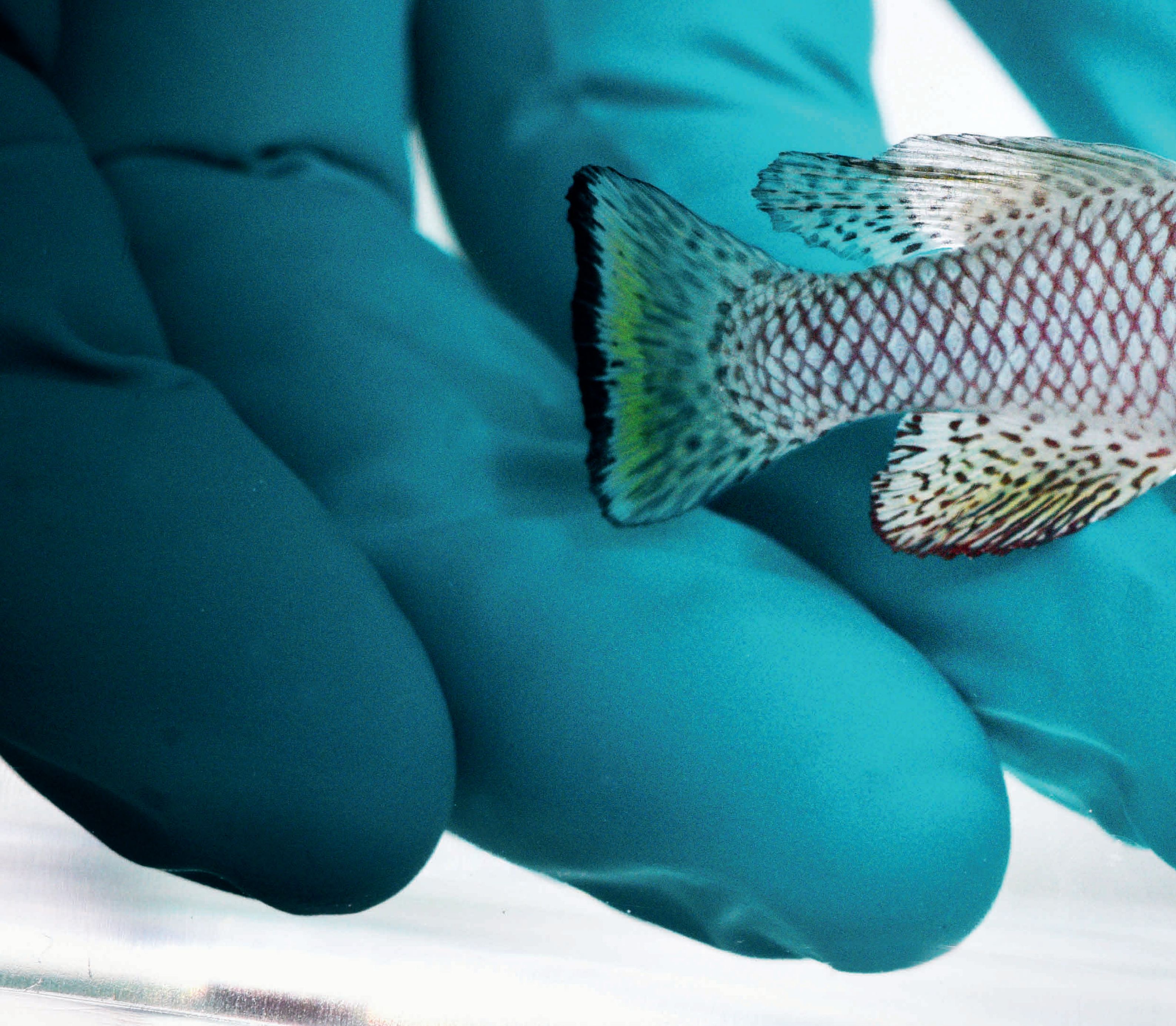
Da das Labor auf dem männlichen Teil des Campus liegt, habe ich während meines Besuchs im Laserlabor in Riad keine einzige Studentin gesehen. Allerdings hatte ich auch wenig Zeit, da ich mich völlig auf meine Arbeit konzentriert habe.

Wissenschaft ist meine Stärke – das, was ich am besten kann. Und ich würde mir wünschen, dass meine Arbeit dazu beiträgt, kulturelle Barrieren zu überwinden und zu zeigen, dass auch Frauen wissenschaftlich arbeiten können. Der weibliche Teil des Campus ist zwar völlig getrennt von unserem, aber eigentlich ist es ja genau die Grundlagenforschung in Physik und im Ingenieurswesen, die für die jungen, hochgebildeten Frauen aus Saudi-Arabien so interessant ist. Ihre männlichen Kollegen bevorzugen ohnehin die besser bezahlten Jobs im Finanzsektor oder in der Ölindustrie.

Unser Labor ist einzigartig: Es liegt mitten in der Wüste und ist erbarmungsloser Hitze und Sonne ausgesetzt. Der Standort in Saudi-Arabien bietet uns die Möglichkeit, Spitzentechnologie in diesen Teil der Welt zu bringen und neue Synergien mit bereits bestehenden Forschungsprojekten zu schaffen. Einer unser ersten Kooperationspartner etwa ist ein Biophysiker, der unsere Geräte nutzen kann, um die ultraschnelle Umwandlung von Melanin zu untersuchen – jenes Pigments, das uns vor der Sonne schützt.

Ich finde es unglaublich spannend, so interessante und fächerübergreifende Projekte mitanzustoßen, die es sonst vielleicht gar nicht gäbe. Und ich hoffe, dass wir mit unserem Labor nicht nur eine gemeinsame Forschungsplattform anbieten, sondern auch ein tieferes Verständnis für kulturelle Vielfalt bei Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aufbauen können.

Fotos: Privat



Leben im **Zeitraffer**

Das Leben ist kurz, das gilt erst recht für den Killifisch *Nothobranchius furzeri*: Er hat nur wenige Monate, dann ist seine Uhr abgelaufen. In dieser Zeit durchlebt er alle Phasen von der Larve bis zum Fischgreis. Seine für Wirbeltiere ungewöhnlich kurze Lebenserwartung fasziniert **Dario Valenzano** vom **Max-Planck-Institut für Biologie des Alterns** in Köln schon lange. Innerhalb von zehn Jahren hat er den Fisch zu einem Modellorganismus für die Alternsforschung gemacht.



Mit seiner roten Netzzeichnung und den schwarz-gelb gemusterten Flossen erscheint der Türkise Killifisch nicht wirklich türkis. Der Name bezieht sich aber auf die grünlich-bläuliche Grundfärbung seiner Schuppen. Schon nach wenigen Monaten beginnen die in der Jugend leuchtenden Farben zu verblassen. Der rapide körperliche Verfall des Fischs hat weltweit das Interesse von Altersforschern geweckt.

Foto: Frank Vinken

TEXT **HARALD RÖSCH**

Wow, das ist ein richtig alter Fisch!“ Dario Valenzano kann seine Bewunderung im Fischkeller des Kölner Max-Planck-Instituts nicht verbergen. Aquarium neben Aquarium sind dort auf langen Regalen nebeneinander aufgereiht.

Wer aber eine weit zurückliegende Jahreszahl als Geburtsdatum erwartet hat, wird enttäuscht: Der Geburtsschein auf der Aquarienscheibe vermerkt einen Geburtstag im September 2014. Der angebliche Methusalem ist also zum Zeitpunkt des Besuchs im Fischkeller gerade mal acht Monate alt. Für einen Angehörigen dieses *Nothobranchius*-Stamms ist das aber ein geradezu biblisches Alter, denn die meisten sind in diesem Alter schon tot.

Im Jahr 2002 begegnet Valenzano dem Fisch mit dem anstößigen Namen – die Art ist benannt nach ihrem Entdecker Richard Furzer – als Student im Labor seines Mentors Alessandro Cellerino in Pisa zum ersten Mal. Dort steht ein kleines Aquarium mit den Fischen im Labor. Cellerino hat die Fische von einem Bekannten erhalten, einem Hobby-Aquarianer, der den Killifisch seit vielen Jahren in seinen Aquarien pflegt und vermehrt. Der Fischliebhaber macht die beiden Forscher darauf aufmerksam, wie schnell dieser altert.

Mit Fischen hat der junge Student damals nichts am Hut: Seine Begeisterung gilt vielmehr dem Verhalten und der Evolution von Affe und Mensch. Für seine Masterarbeit beobachtet er Affen in einem Zoo und analysiert deren Mimik. Trotzdem wecken die kurzlebigen Fische sein Interesse, und bald ist er Feuer und Flamme. Aus Neugier sucht er nach Alterserscheinungen im Gehirn der Fische und findet tatsächlich Proteinablagerungen, wie sie auch im menschlichen Gehirn im Alter typisch sind.

Von nun an will Valenzano das Rätsel der Kurzlebigkeit von *Nothobranchius* lösen und ihn zu einem Modellorganismus für das Altern machen. Davon gibt es zwar schon mehrere: den Fadenwurm *Caenorhabditis elegans* etwa, die Fruchtfliege *Drosophila* oder die Maus. Letztere lebt gerade mal zwei, drei Jahre. Das klingt nach wenig, heißt aber auch, dass Wissenschaftler jedes Mal so lange warten müssen, bis sie eine Maus im Alter untersuchen können. Fadenwurm und Fruchtfliege leben dagegen nur we-

nige Wochen, sie sind jedoch Wirbellose und unterscheiden sich dadurch stark vom Menschen.

Nothobranchius würde also eine Lücke füllen: extrem kurzlebig und als Wirbeltier mit dem Menschen nah verwandt. *Nothobranchius* durchläuft innerhalb weniger Monate den gesamten Alterungsprozess, der bei anderen Wirbeltieren Jahre oder Jahrzehnte dauert. Warum aber ist ausgerechnet diesen Fischen kein längeres Leben vergönnt? Schließlich werden manche Fische richtig alt. Die berühmten Koi-Karpfen beispielsweise können mehrere Jahrzehnte auf dem Buckel haben. Eine Felsenbarsch-Art aus dem Nordpazifik lebt sogar über 200 Jahre.

Die Kurzlebigkeit könnte mit dem Klima im südlichen Afrika zusammenhängen – der Heimat des Türkisen Killifischs, wie ihn Valenzano auch nennt, um seinen unglücklichen lateinischen Namen zu vermeiden. Wasser gibt es dort nur für maximal sieben Monate im Jahr, manche Gewässer trocknen sogar schon nach zwei Monaten wieder aus. Wahrlich keine idealen Voraussetzungen für ein Fischleben. Als Fisch kann hier nur bestehen, wer sich entwickelt und fortpflanzt, solange es noch Wasser gibt. Gene für Langlebigkeit bringen unter solchen Bedingungen nichts und werden von der Evolution folglich auch nicht gefördert. Für Valenzano könnte dies der Grund für die extreme Kurzlebigkeit von *Nothobranchius* sein.

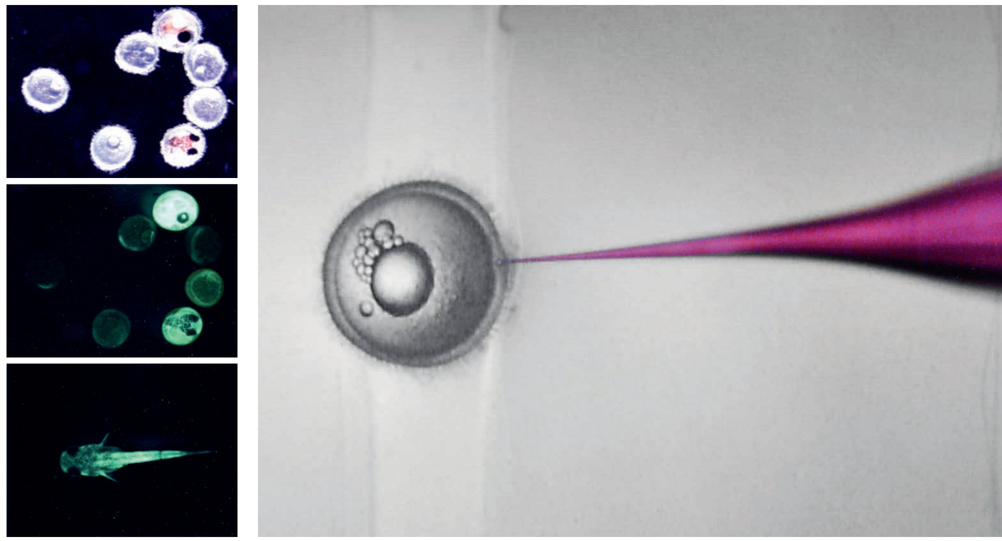
Wegen der kurzen Regenzeit reift *Nothobranchius furzeri* schnell heran: Schon drei bis vier Wochen nach dem Schlüpfen sind die Fische erwachsen und können sich fortpflanzen. Von jetzt an ist der Verfall sichtbar. Die in der Jugend schillernden Farben verblassen, die Flossen fransen aus, und die Wirbelsäule verkrümmt sich zusehends. Wie im Zeitraffer durchlaufen die Fische alle Altersphasen bis zum Fischgreis.

Der Natur scheint dies egal zu sein, für die nächste Fischgeneration ist schließlich gesorgt. Die Eier ruhen im Bodengrund des Gewässers. Wenn der



Linke Seite: Schlüssel zum Alter: Mit dem Killifisch *Nothobranchius furzeri* will Dario Valenzano ergründen, warum Organismen altern.

Diese Seite: Geglückter Gentransfer: Mit einer feinen Glaskanüle übertragen die Forscher das Gen für das Fluoreszenzprotein GFP auf eine befruchtete Fisch-Eizelle (großes Bild). In den reifenden Embryos (kleines Bild oben) ist das Leuchtgen aktiv (Mitte) und lässt die Tiere fluoreszieren (unten, fünf Tage alte Larve).



Tümpel austrocknet, fallen die Embryos in eine Art Dauerschlaf. So können sie die monatelange Trockenzeit überstehen.

Was das Altern angeht, ist *Nothobranchius* ziemlich unflexibel: Er altert, auch wenn ihm – wie im Labor – kein früher Tod durch Vertrocknen droht. Das ist es, was Valenzano so an ihm fasziniert: „*Nothobranchius* könnte uns die Antwort auf die Frage liefern, warum es so etwas wie das Altern überhaupt gibt. Bringt das Älterwerden Tieren und Pflanzen einen Vorteil? Oder gab es einfach keinen Grund, nach erfolgreicher Fortpflanzung etwas gegen den zwangsläufigen Verfall zu unternehmen?“

Das Altern lässt sich zwar bei *Nothobranchius* nicht stoppen, aber immerhin verlangsamen. Verschiedene Faktoren beeinflussen seine Lebenserwartung. Die Temperatur zum Beispiel: In kühlerem Wasser werden die Fische älter. Auch das Nahrungsangebot spielt eine Rolle. Wird weniger gefüttert, leben die Fische länger – Befunde, wie Forscher sie schon von Fruchtfliegen und Fadenwürmern kennen. Warum das so ist, ist noch nicht restlos geklärt. „Möglicherweise verraten Temperatur und Nahrungsangebot dem Organismus, ob die Umweltbedingungen günstig sind. Bei tiefen Temperaturen und wenig Nahrung empfiehlt es sich, mit der Fortpflanzung noch etwas zu warten. Das Tier muss folglich länger am Leben bleiben, um sich vermehren zu können“, mutmaßt Valenzano.

Aus solchen Zusammenhängen will er allgemeingültige Erkenntnisse über das Altern gewinnen. Viele der Alterserscheinungen beim Killifisch treten auch bei anderen Lebewesen auf: Sie erkranken an Krebs, bauen mental ab, verlieren ihre Fruchtbarkeit und ihre Farben, und sie werden gebrechlich. „An *Nothobranchius* können wir deshalb in kurzer Zeit untersuchen, wie ein Organismus altert“, erklärt Valenzano.

WELTWEITER KILLIFISCH-BOOM

Damit ein Organismus ein Modell für die Wissenschaft werden kann, muss vieles zusammenkommen. Der Fall *Nothobranchius furzeri* ist eine Erfolgsgeschichte. Dario Valenzano hat aus ihm ein Objekt weltweiten Wissenschaftsinteresses gemacht. Rund 40 Labors weltweit forschen heute an dieser Art. „Alle zwei Wochen fragen Wissenschaftler bei uns an, ob wir ihnen Eier von *Nothobranchius* schicken, damit sie die Fische in ihrem Labor züchten können“, sagt Valenzano. Mittlerweile versammelt sich die Killifisch-Gemeinde sogar alle zwei Jahre auf einer internationalen Konferenz.

Der Weg dahin war steinig. Valenzanos Vorhaben rief nicht nur Begeisterung unter seinen Doktorarbeitsbetreuern in Pisa hervor: Mancher reagierte reserviert und warnte vor dem Risiko, etwas völlig Neues zu entwickeln. Trotzdem unterstützten sie ihn letztlich alle. Insbesondere die Universität Stanford, wohin er nach seiner Dissertation wechselte, gab ihm die Chance, den genetischen Werkzeugkasten aufzufüllen, mit dem sich das Altern der Killifische untersuchen lässt.

Zunächst untersuchte er, ob *Nothobranchius* einfach nur früh stirbt, ohne vorher merklich zu altern, und wie er altert. Im Gehirn entdeckte Valenzano Proteine, die mit zunehmendem Alter der Fische immer häufiger werden und Zellschäden anzeigen. Außerdem hat er Lerndefizite festgestellt: Ältere Killifische lernen schlechter, einen an sich harmlosen Lichtreiz mit einem furchtauslösenden Schlag ins Wasser zu assoziieren. Ähnlich wie beim Menschen betrifft das Altern auch bei den Killifischen unterschiedliche Organe. Die Tiere werden bewegungsunlustiger und magern ab, die Wirbelsäule verkrümmt sich. Die Nieren arbeiten schlechter, und in der Leber wachsen Tumore. „Krebs ist die

» Bringt das Älterwerden einen Vorteil, oder gab es für die Evolution einfach keinen Grund, nach erfolgreicher Fortpflanzung etwas gegen zwangsläufigen Verfall zu unternehmen?





Killifisch-Männchen im Alter von fünf (oben) und zwölf Wochen (unten). Im Alter verschwinden die Farben, und die Flossen fransen aus. Da die Augen nicht aufhören zu wachsen, haben ältere Fische zudem größere Augen.

häufigste Todesursache alter Killifische im Labor", sagt Valenzano.

Zudem musste er Anleitungen für die Haltung und Zucht erstellen. Zwar ist *Nothobranchius* anspruchslos und nicht schwer zu halten, damit aber die Ergebnisse verschiedener Forschungslabors vergleichbar sind, müssen die Fische unter ähnlichen Bedingungen leben. Valenzano entwickelt deshalb detaillierte Haltungsprotokolle für die chemische Zusammensetzung des Wassers, für Temperatur, Licht und Futter. Schließlich beeinflussen viele Umweltfaktoren den Alterungsprozess.

Damit der Fisch als Modell für die Alternsforschung taugt, musste sein Erbgut entschlüsselt werden. Denn dann können Forscher einzelne Gene untersuchen und verändern. Valenzano hat deshalb viel Mühe in die Entwicklung molekularbiologischer Methoden gesteckt, zum Beispiel die Übertragung von DNA auf *Nothobranchius*-Eier. Diese sind zum Schutz vor Trockenheit von einer besonders widerstandsfähigen Eihülle umgeben. „An der Hülle haben wir uns zunächst die Zähne ausgebissen. Mit den gängigen Mikrokanülen konnten wir sie nicht durchstechen und Gene injizieren. Erst kürzere und dadurch härtere Kanülen haben, zusammen mit ein paar weiteren Tricks, den Durchbruch gebracht", sagt Valenzano.

Mit seinen Injektionsnadeln injizierte er ein „springendes Gen". Es produziert ein Enzym, welches das Erbgut an bestimmten Stellen schneidet. Damit hat Valenzano erstmals ein fremdes Gen im Erbgut von *Nothobranchius furzeri* platziert. Ohne den Beweis, dass sich genetisch veränderte *Nothobranchius* erzeugen lassen, wäre die Modellkarriere des Fischs schon in den Kinderschuhen stecken geblieben. Doch so hat Valenzano Chromosomenabschnitte entdeckt, die das Altern des Killifischs steuern. Diese Bereiche will er nun genau untersuchen und herausfinden, welche Gene dafür verantwortlich sind. Außerdem konnte er Gene für die Schwanzfarbe der Fische identifizieren und solche, die das Geschlecht der Tiere bestimmen.

Inzwischen haben Valenzano und andere den molekularbiologischen Werkzeugkasten noch einmal erweitert, sodass sich das Killifisch-Erbgut heute so detailliert analysieren lässt wie das von Fruchtfliege oder Maus. Das komplette Genom von *Nothobranchius furzeri* ist inzwischen entschlüsselt, und seine DNA-Sequenz wird in Kürze der Wissenschaftsgemeinde zur Verfügung gestellt.

Wissenschaftler können *Nothobranchius*-Gene heute sogar mit der sogenannten CRISPR/Cas9-Methode ausschalten. Mit der Technik, die seit wenigen Jahren die Biologie revolutioniert, konnten Forscher in den USA innerhalb von zwei bis drei Monaten genetisch veränderte *Nothobranchius*-Stämme züchten, die schon im Alter von nur zwei Monaten alterstypische Anzeichen aufwiesen, etwa geringere Fruchtbarkeit und Anfälligkeit für Tumore. Auslöser dafür war ein funktionsuntüchtiges Gen für das Telomerase-Protein. Dieses Enzym verhindert normalerweise, dass die Endstücke der Chromosomen, die Telomere, mit der Zeit kürzer werden. Kürzer werdende Telomere treten auch beim Menschen im Alter auf.

MIKROBEN IM FISCHDARM

Das Erbgut ist aber nicht das Einzige, was Valenzano derzeit am Killifisch interessiert – auch der Darm der Fische hat es ihm angetan. Er vermutet, dass die Darmflora das Altern vieler Tiere beeinflusst. Die unzähligen Bakterien helfen ihrem Wirt bei der Verdauung. Sie sind zudem an Stoffwechselvorgängen beteiligt, die die Anfälligkeit für Erkrankungen wie Diabetes erhöhen können. Jede Fischart besitzt eine eigene Bakteriengemeinschaft. Deren Zusammensetzung kann sich sogar innerhalb einer Art von Fisch zu Fisch unterscheiden.

Analysen des Erbguts der Mikroorganismen verraten Valenzano, welche Bakterien im Fischdarm vorkommen. „Wir wissen nun, dass ältere Fische andere Darmbakterien haben als jüngere", sagt Valenzano. Als Nächstes will er herausfinden, ob besonders alt werdende Fische andere Mikroorganismen besitzen als kurzlebige Exemplare und ob er die Lebensdauer eines Fischs verlängern kann, wenn er dessen Darmgemeinschaft verändert. Dafür befreit er zuerst den Darm eines jungen Fischs mit einem Antibiotikum von Bakterien und gibt dann den Darminhalt eines alten

Fotos: MPI für Biologie des Alterns – Dario Valenzano (2)

Tiers ins Wasser. So überträgt er dessen Darmflora und kann untersuchen, ob der junge Fisch mit den neuen Bakterien länger lebt und gesund bleibt.

Valenzano will künftig zusammen mit den Kollegen in seiner Forschungsgruppe am Kölner Max-Planck-Institut aber nicht nur Experimente im Labor vornehmen. Er möchte auch der Natur beim Experimentieren zusehen. Schließlich sucht die Evolution seit Jahrmillionen nach Wegen, wie die Killifische in ihrem Lebensraum überleben können.

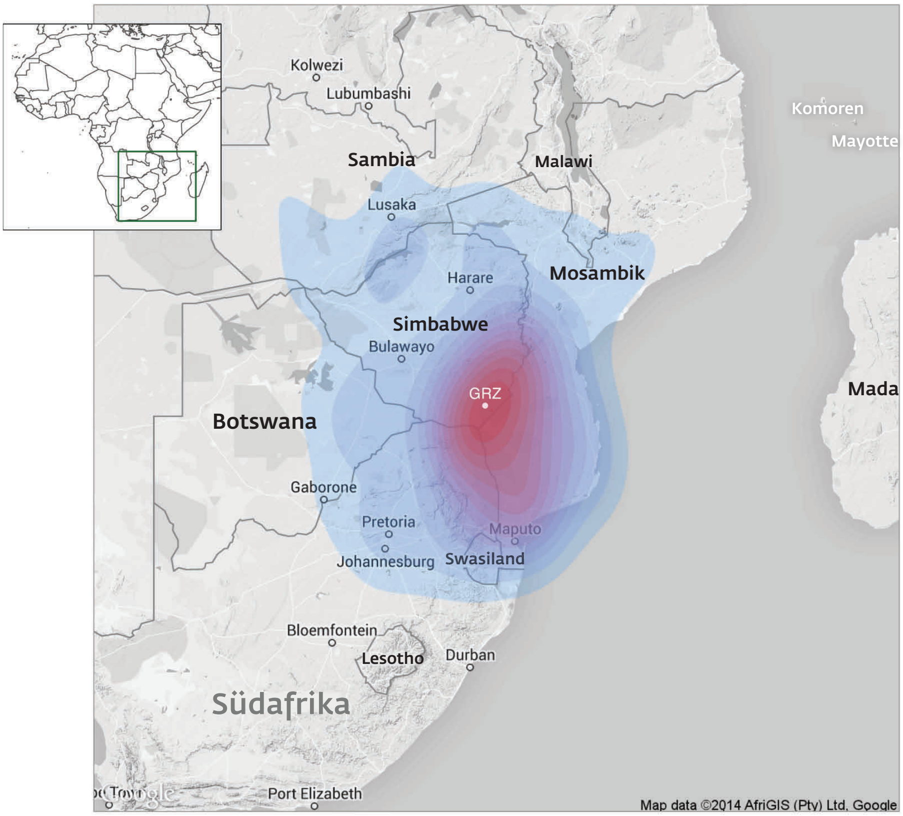


Rechts: Wenn Wissenschaftler improvisieren müssen… Als Unterlage für die Gen- und Darmanalysen in der Savanne dienen Valenzano und seinen Kollegen ein einfacher Klapptisch – und ein Bügelbrett.

Unten: Typischer Lebensraum von *Nothobranchius furzeri* im Gonarezhou-Nationalpark in Simbabwe während der Trockenzeit. Die meisten Gewässer trocknen in dieser Jahreszeit vollständig aus. Im ausgedörrten Boden warten die Eier der Killifische auf den nächsten Regen.



Fotos: MPI für Biologie des Alterns – Dario Valenzano (2)



Die Forscher um Valenzano haben *Nothobranchius furzeri* an verschiedenen Orten in Mosambik gefunden, kürzlich auch im Gonarezhou-Nationalpark in Simbabwe (GRZ). An den Fundstellen herrscht unterschiedliches Klima: ein feuchtes Monsunklima im Flachland (blau), Wüstenklima im Hochland (rot). Je trockener das Klima, desto schneller trocknen die Tümpel wieder aus, was die besonders kurze Lebensspanne der im Gonarezhou-Park lebenden Killifische erklären könnte.

Nothobranchius furzeri hat aus der Not eine Tugend gemacht: Er lebt einfach schneller und stirbt früher.

Andere Fische dagegen denken gar nicht daran, auf Lebenszeit zu verzichten: Lungenfische etwa, die mit *Nothobranchius* in denselben Tümpeln leben, graben sich tief im Schlamm ein und warten dort auf das Ende der Trockenzeit. Manche Lungenfische können so über 50 Jahre alt werden. Verwandte von *Nothobranchius* in der Neuen Welt haben das Problem wieder anders gelöst: Nordamerikanische Killifische springen aus den austrocknenden Gewässern und überdauern die wasserlose Zeit an Land in feuchtem Holz.

AUS DEM LABOR IN DIE SAVANNE

„Die Evolution ist ein einziges großes Experiment, in dem ständig Genvarianten getestet und die geeignetsten ausgewählt werden", sagt Valenzano. Diese natürlich vorkommenden Varianten sollen ihm nun erzählen, warum die Natur *Nothobranchius* altern lässt und was dabei passiert.

Dazu muss er die Fische untersuchen, wie sie in der Natur vorkommen. In den Labors der Forscher schwammen bis Anfang des neuen Jahrtausends aber nur die Nachkommen der ursprünglich von Richard Furzer eingeführten Fische. Der Amerikaner hatte die damals noch unbekannte *Nothobranchius*-Art 1968 im Osten Simbabwes nahe der Grenze zu Mosambik gefangen und mit nach Europa gebracht. Seitdem haben Hobby-Aquarianer die Kinder und Kindeskinder in den Aquarien vermehrt – das entspricht bis zum heutigen Tag etwa 80 Fischgenerationen.

Da sich die Fische des (nach dem Fundort im Gonarezhou-Park) als GRZ bezeichneten *Nothobranchius*-Stammes all die Jahre nur untereinander fortgepflanzt haben, sind sie einander genetisch extrem ähnlich geworden. Ihre Gene liegen fast alle in derselben Ausführung vor – ideale Voraussetzungen für genetische Untersuchungen. Andere Labortiere sind trotz jahrelanger Zucht genetisch sehr viel heterogener, etwa der Zebrafisch, was seine Erbgutanalyse erschwert hat.

Fische vom GRZ-Stamm besitzen die kürzeste Lebenserwartung aller Tiere, die in Gefangenschaft vermehrt werden können: unter Laborbedingungen im Mittel neun, maximal 13 Wochen. Lange war unklar, ob die Kurzlebigkeit des GRZ-Stamms eine Folge der jahrzehntelangen Inzucht war und ob wilde *Nothobranchius furzeri* eine ähnlich kurze Lebenserwartung besitzen.

Schon 2004 flogen Valenzano und einige Kollegen deshalb nach Mosambik und suchten dort nach dem Killifisch. Obwohl viele der Gewässer in den letzten Jahren in Reisfelder umgewandelt worden waren, wurden die Forscher an mehreren Stellen fündig. Die Fische leben dort unter verschiedenen Klimabedingungen: Höher und weiter im Landesinneren gelegene Gebiete sind verhältnismäßig trocken, das Küstentiefland dagegen erhält mehr Regen. Die Küstengewässer trocknen folglich nicht so schnell aus. Dort hätte *Nothobranchius* somit mehr Zeit, sich zu entwickeln, bevor er auf dem Trockenen sitzt.

Die Wissenschaftler fingen in vier Habitaten mehrere Dutzend Fische, nahmen sie mit ins Labor und vermehrten sie dort. Nun konnte Valenzano nicht nur die Lebenserwartung wilder *Nothobranchius furzeri* mit jener des GRZ-Stammes aus dem Labor verglei-

» Krebs ist die häufigste Todesursache alter Killifische im Labor.

chen. Er konnte auch überprüfen, ob sich unterschiedliche Lebensbedingungen auf den Alterungsprozess auswirken.

Die wilden Fische leben zwar mit 25 bis 32 Wochen deutlich länger als die GRZ-Tiere aus dem Labor. Für ein Wirbeltier haben sie aber immer noch eine sehr kurze Lebenserwartung. Und mehr noch: Die Hochlandfische altern tatsächlich schneller und sterben früher als die Tiere aus der feuchten Küstenregion. Außerdem nehmen schädliche Proteinablagerungen im Gehirn bei Letzteren langsamer zu.

Ein wichtiger Mosaikstein fehlte Valenzano jedoch noch: die wilden Verwandten der Fische, aus denen sich der GRZ-Stamm ursprünglich entwickelt hatte. Furzer hatte das Gründerpaar seinerzeit im Osten Simbabwes gefangen, einer im Vergleich zu den Lebensräumen in Mosambik noch trockeneren Region. „Es muss also nicht unbedingt an den Zuchtbedingungen im Labor liegen, dass die Tiere des GRZ-Stammes so kurz leben. Vielleicht hat die extreme Trockenheit die Fische so extrem kurzlebig werden lassen“, sagt Valenzano.

FISCHFANG IM SCHUTZGEBIET

Valenzano musste also in die Heimat des GRZ-Stammes nach Simbabwe, in den Gonarezhou-Nationalpark. Doch es dauerte fünf Jahre, bis er die notwendigen Papiere von der Nationalparkverwaltung bekam. Dabei wollte er dieses Mal gar keine Fische ausführen, sondern nur Gewebeproben für Gen- und Darmanalysen nehmen. „Im südlichen Afrika ist in den vergangenen Jahren die Wilderei förmlich explodiert. Deshalb wird jeder Eingriff in den Park besonders sorgfältig geprüft“, sagt Valenzano.

Im Frühjahr 2015 hatte er dann endlich alle Genehmigungen zusammen. Wieder machte er sich mit einer Gruppe von Wissenschaftlern auf ins südliche Afrika. Bevor sie den Nationalpark betraten, kauften sie in einem Haushaltswarenladen aber noch schnell ein Bügelbrett. „Es ging uns natürlich nicht um unsere Wäsche. Was wir brauchten, war vielmehr eine ebene Unterlage, um darauf unsere Proben entnehmen zu können. Dafür war ein zusammenklappbares Bügelbrett genau das Richtige“, erzählt Valenzano.

Mit den Proben aus Gonarezhou kann Valenzano nun das Erbgut des GRZ-Stammes mit dem der Tiere aus Mosambik vergleichen. Daraus erhofft er sich weitere Erkenntnisse darüber, welche Gene den Alterungsprozess bei *Nothobranchius furzeri* steuern. Außerdem will er analysieren, wie häufig die verschiedenen Ausprägungen eines Alterungsgens in der Natur vorkommen und wie sich diese Häufigkeit über die Jahre verändert. Dies soll ihm zeigen, wie die Evolution die Lebenserwartung der Fische an die jeweils herrschenden Umweltbedingungen anpasst. Auch die unterschiedlichen Bakteriengemeinschaften im Darm der Wildfische werden ein Schwerpunkt seiner künftigen Untersuchungen sein.

Dafür wird er noch öfter nach Afrika reisen müssen. „Das ist ein Langzeitprojekt über 20, vielleicht sogar 30 Jahre.“ Für einen jungen Wissenschaftler ist das durchaus zu schaffen. In seinen Aquarien werden dann Fische der vierzigsten oder sechzigsten Generation schwimmen. Auf den Menschen umgerechnet, entspräche das 1000 bis 1500 Jahren – als Modellorganismus für das Altern kann der Mensch dem Killifisch also definitiv nicht das Wasser reichen. ◂

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Dank der kürzesten Lebenserwartung aller im Labor züchtbaren Wirbeltiere eignet sich *Nothobranchius furzeri* besonders gut als Modellorganismus für die Untersuchung von Alterungsprozessen.**
- **Weltweit untersuchen Wissenschaftler, welche Gene den Alterungsprozess von *Nothobranchius* steuern. Dafür erzeugen sie künstlich Genmutationen und untersuchen die in der Natur vorkommenden Genvarianten.**
- **Neben den Genen beeinflussen auch äußere Faktoren die Lebenserwartung von *Nothobranchius*, etwa die Temperatur und die Verfügbarkeit von Nahrung. Auch die Zusammensetzung der Darmflora spielt eine Rolle.**

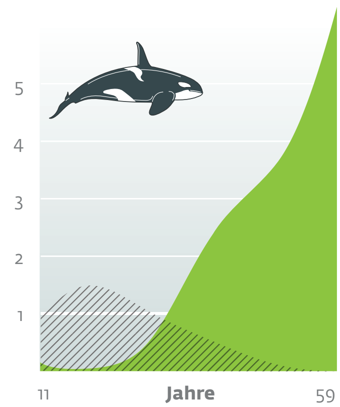
GLOSSAR

CRISPR/Cas9: Neue molekularbiologische Methode, mit der Wissenschaftler Organismen deutlich einfacher als bisher genetisch verändern können. Das CRISPR/Cas-System dient Bakterien als eine Art Immunsystem, mit dem sie Viren – sogenannte Phagen – unschädlich machen. Cas-Enzyme können die DNA an sich wiederholenden Abschnitten zerschneiden, den CRISPRs (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats). An diesen Stellen können Forscher dann neue DNA-Stücke einfügen.

Killifische: Sie gehören zu den sogenannten Zahnkärpflingen. Der Name geht auf das niederländische Wort für Entwässerungsgraben zurück (Kill). In solchen Gräben sind die Fische in den holländischen Kolonien Nordamerikas entdeckt worden. Die Killifische sind die eierlegenden Arten unter den Zahnkarpfen. Diese Einteilung ist wissenschaftlich inzwischen veraltet, unter Aquarianern ist der Begriff aber nach wie vor weit verbreitet.

Vielfalt des **Alterns**





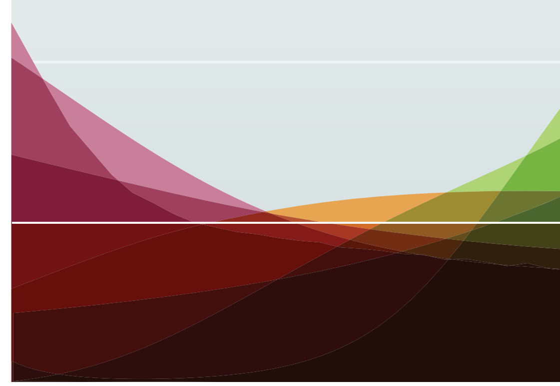


Viele Tiere altern ähnlich wie der Mensch.

KURVEN DES ALTERNS

Relatives Sterberisiko (farbige Flächen) und Fruchtbarkeit (graue Schraffuren) im Verhältnis zum Lebensalter, beginnend mit der Geschlechtsreife bis zu dem Alter, in dem nur noch 5 Prozent der erwachsenen Individuen am Leben sind.

Sterberisiko und Fruchtbarkeit sind in den übrigen Grafiken im Verhältnis zum jeweiligen Lebensdurchschnitt dargestellt.



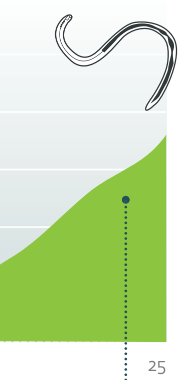
|← Alter der Geschlechtsreife

TYPISCHE LEBENSERWARTUNGEN



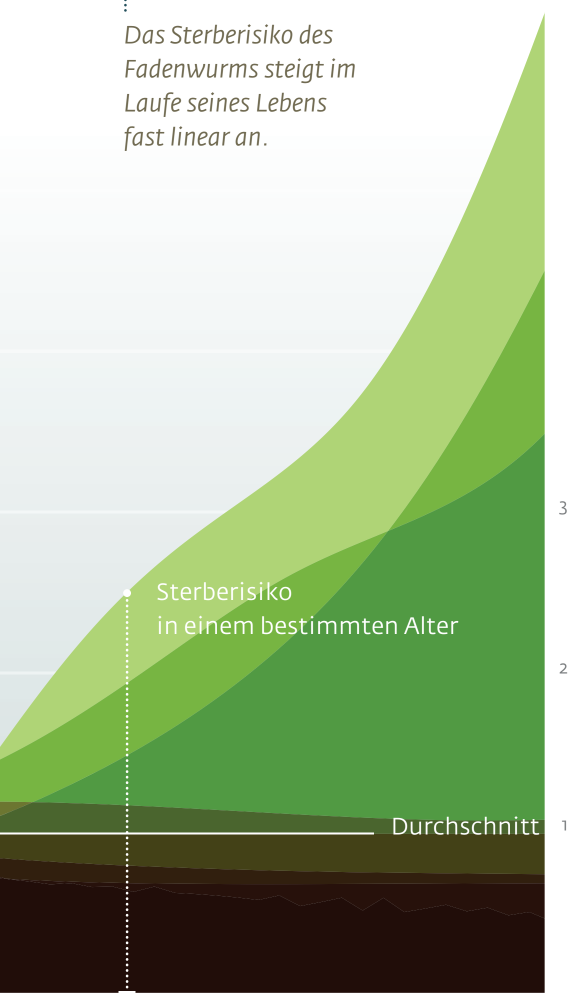
Datenvisualisierung und Design: Moritz Stefaner. Illustrationen: Sarene Chan

STEPPENPAVIAN





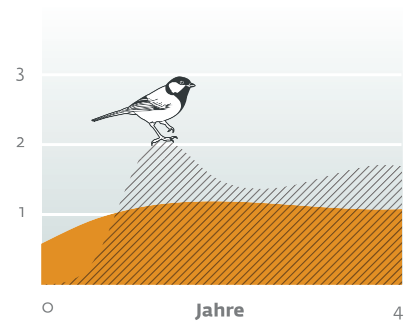
Das Sterberisiko des Fadenwurms steigt im Laufe seines Lebens fast linear an.



Alter, in dem nur noch 5 Prozent der Individuen am Leben sind

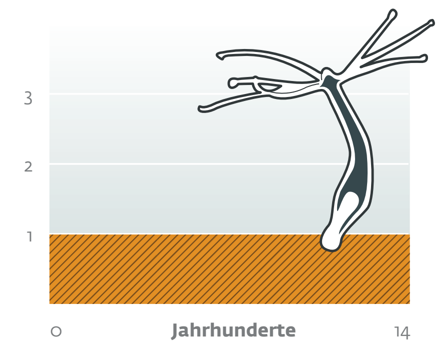
Gleichbleibendes STERBERISIKO

KOHLMEISE



Das Sterberisiko mancher Tiere ändert sich nicht mit dem Alter.

SÜSSWASSERPOLYP

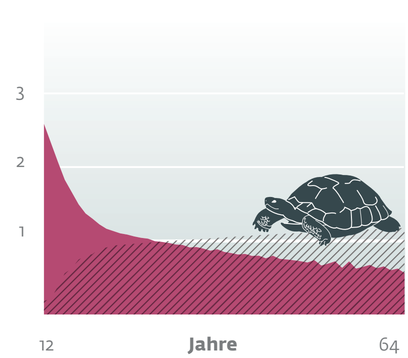


Süßwasserpolypen können Jahrhunderte alt werden und dabei vital und fruchtbar bleiben wie am ersten Tag.

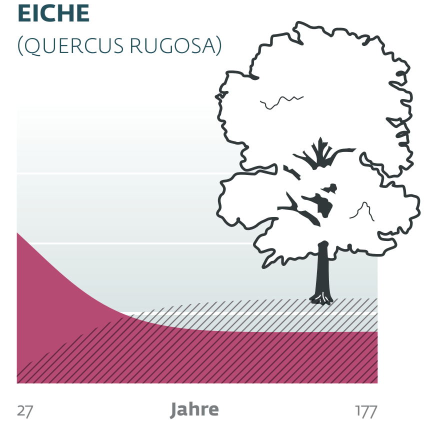
Sinkendes STERBERISIKO

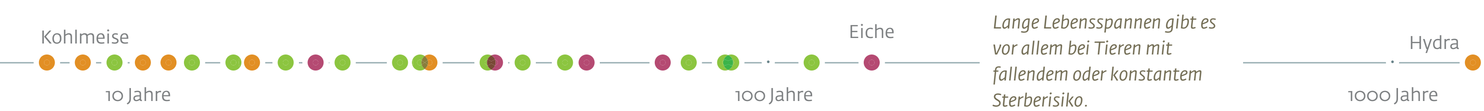
Manche Pflanzen und Tiere sterben umso seltener, je älter sie werden.

KALIFORNISCHE GOPHERSCHILDKRÖTE



EICHE
(QUERCUS RUGOSA)





Lange Lebensspannen gibt es vor allem bei Tieren mit fallendem oder konstantem Sterberisiko.

Basierend auf: Owen R. Jones, Alexander Scheuerlein et al. **Diversity of ageing across the tree of life** Nature, 505:7482, 169-173

Lesen Sie mehr unter http://bit.ly/ageing-diversity

Ein Hauch von **Unsterblichkeit**

Ewiges Leben ist verdammt lang. Trotzdem kann **Ralf Schaible** vom **Max-Planck-Institut für demografische Forschung** in Rostock schon heute sagen, dass der Süßwasserpolyp *Hydra* diesem Ideal ziemlich nahe kommt. In einem von Institutsdirektor **James W. Vaupel** initiierten Langzeitexperiment untersuchen er und seine Kollegen, warum *Hydra* unter bestimmten Umständen nicht altert.

TEXT **KLAUS WILHELM**

Die Süßwasserpolypen im Rostocker Max-Planck-Institut bekommen wirklich alles für ein langes Leben. Denn für „das Experiment", wie Ralf Schaible es nennt, kann er nur glückliche Tiere gebrauchen. Für die nicht einmal einen Zentimeter langen, stecknadeldünnen Tierchen schafft Schaible deshalb paradiesische Zustände: „Wir pampern sie mit allem, was sie sich nur träumen können." Mehrere seiner Mitarbeiter sind mit der Fütterung der rund 1800 Polypen beschäftigt. Mit hauchfeinen Pipetten verabreichen sie ihren gläsern wirkenden Forschungsobjekten deren Leib- und Magenspeise direkt auf die Tentakeln: kleine Krebstiere. Immer die gleiche Ration, frei Haus, dreimal wöchentlich. Und das seit nunmehr fast zehn Jahren.

Der *Hydra* scheint es ziemlich zu munden. Unter diesen Bedingungen hat sie nun ihr Geheimnis preisgegeben: „*Hydra* altert nicht", resümiert Schaible die spektakuläre Erkenntnis aus dem Experiment, „sie hat über all die Jahre hinweg eine konstante Sterblichkeitsrate." Das schien bislang, wissenschaftlich gesehen, unmöglich.

IM ALTER BAUT DER KÖRPER AB

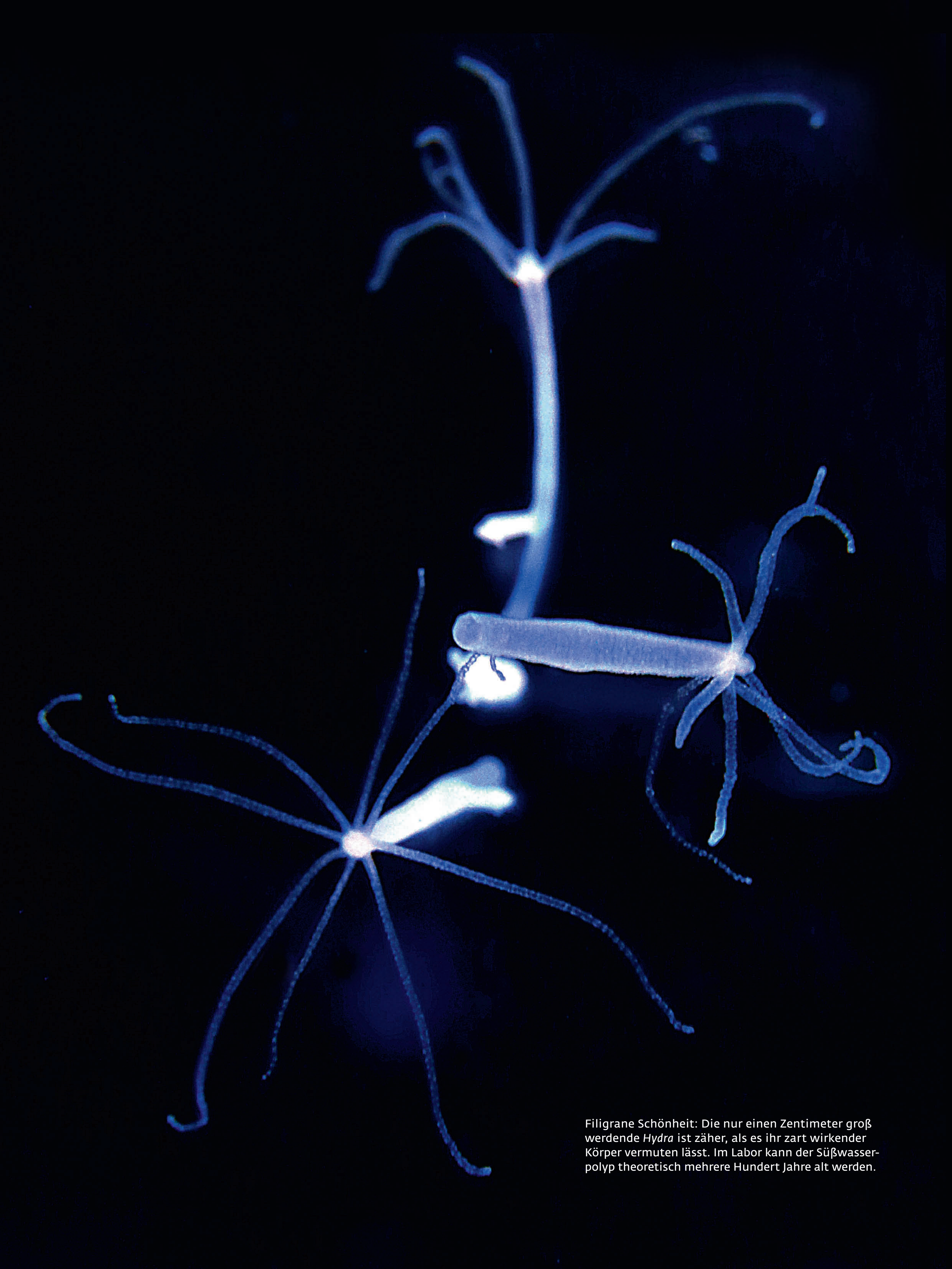
Altern, Sterblichkeit, Unsterblichkeit: Diese Themen faszinieren den Menschen nicht erst seit der Ära der Postpostpost-Moderne. Aus gutem Grund: Ringe pflügen sich immer tiefer unter die Augen. Haut und Bindegewebe schlaffen ab. Falten pflastern Hals und Gesicht. Die Lesebrille sitzt wie ein Seniorenausweis über der Nase. Das Gedächtnis funktioniert nicht mehr so flott wie früher. Der Sprint zur nächsten Bushaltestelle gleicht eher einem müden Trab.

Nein: Ein Vergnügen ist Altern nicht. Und mit jedem Tag steigt das Risiko zu sterben. Einige Zeitgenossen empfinden den Prozess als beängstigend. Andere Menschen verkünden selbstsicher, ihnen sei es egal – obwohl vielleicht auch sie morgens vorm Spiegel so klammheimlich wie akribisch die Falten mustern. Und wer weiß: Vielleicht hoffen auch sie insgeheim, dass die Wissenschaft eines Tages den Lauf der Dinge stoppen kann. So wie die Alchemisten des Mittelalters, die nach dem Elixier für das ewige Leben suchten. Das allerdings war und ist nach Ansicht von Ralf Schaible vergebliche Liebesmüh: „Unsterblichkeit halte ich für unmöglich", sagt der Mann, „selbst bei einem Organismus wie der *Hydra*."

Hydra besitzt wahrlich erstaunliche Eigenschaften – genauso wie ihre Namensgeberin aus der griechischen Sagenwelt. Jenes vielköpfige Ungeheuer, dem für jeden abgeschlagenen Kopf zwei neue Köpfe nachwachsen. Der Kopf in der Körpermitte ist zudem unsterblich.

Wie sein mythologisches Vorbild ersetzt auch der Süßwasserpolyp verloren gegangene Körperteile. „Aber warum kann der das und andere nicht?", fragt sich Schaible leicht versunken. Hat damit die extreme Langlebigkeit von *Hydra* zu tun? >

Foto: Fotostudio Hagedorn



Filigrane Schönheit: Die nur einen Zentimeter groß werdende *Hydra* ist zäher, als es ihr zart wirkender Körper vermuten lässt. Im Labor kann der Süßwasserpolyp theoretisch mehrere Hundert Jahre alt werden.



Davon ist der Forscher mehr und mehr überzeugt, je weiter das Experiment fortschreitet, das am 1. März 2006 begann und am 31. Dezember 2017 sehr wahrscheinlich enden wird. Damals begannen die Forscher, *Hydra 1* aus Kohorte Nummer 1 und alle daraus hervorgegangenen Nachfahren zu verwöhnen.

Jedes Tier bewohnt für sich eine Schale Wasser mit Mineralstoffen bei konstanten 18 Grad Celsius. Es bekommt stets die gleiche Futtermenge und lebt im Rhythmus eines normalen Tages mit Licht und Dunkelheit. Dass sie in ihren Laborschalen nicht von Fischen oder anderen Tieren gefressen werden, komplettiert das Luxusleben.

Gleich nach Start des Experiments begann *Hydra 1* sich ungeschlechtlich zu vermehren. Die Forscher sammelten ihre Sprösslinge ein und gaben ihnen ebenfalls „Einzelzimmer" – bis heute mehr als 1800-mal.

Trotzdem gibt es Tote. Die meisten sind Laborunfälle, etwa wenn Individuen an dem Deckel der Schalen kleben bleiben und austrocknen oder zu Boden fallen. Manch eine *Hydra* stirbt aber auch eines natürlichen Todes: Sie hört dann auf zu fressen und verkürzt ihre Fangarme. Als Nächstes beginnt dann der ganze Körper zu schrumpfen, nach ein bis zwei Wochen löst sich das Tier in seine Bestandteile auf. „Diese Form des Sterbens", sagt Schaible, „haben wir bisher aber nur sehr selten beobachtet."

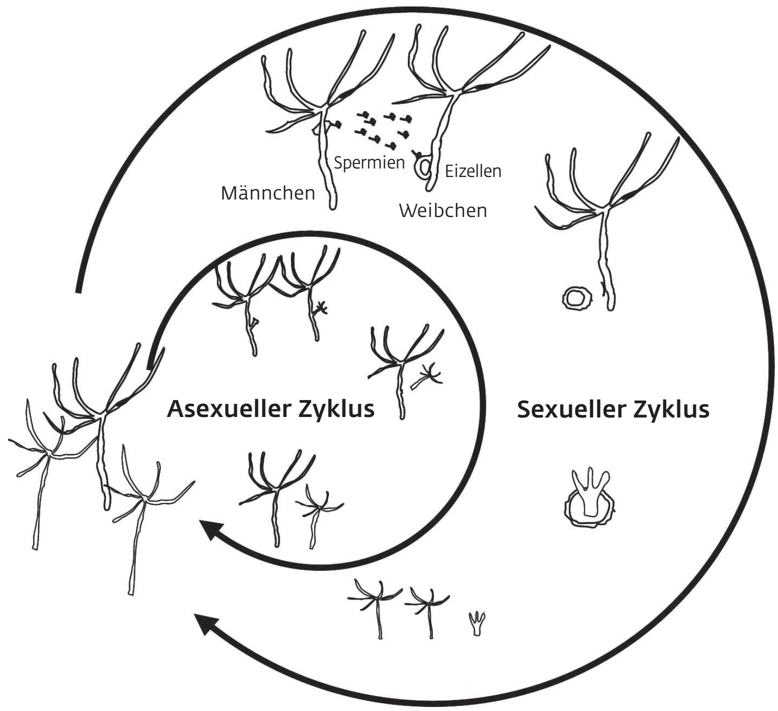
Die Wissenschaftler bestimmen darüber hinaus die asexuelle Fortpflanzungsrate. Dabei zählen sie jedes neue Tochterindividuum. „Bis heute sind auf diese Weise mehr als 30 000 genetisch identische Polypen entstanden", sagt Schaible. Von mehr als 1800 Individuen besitzt er detaillierte Daten. Das produktivste Tier hat bislang 341 Nachkommen hervorgebracht, andere nur zehn oder 20.

Mit ihrem Langzeitexperiment wollen die Forscher die natürliche Sterblich-

LANGLEBIGE MUSCHEL

Die Islandmuschel *Arctica islandica* ist das langlebigste komplexe Tier der Erde. Ein Exemplar des Schalentiers hat es nachweislich auf über 500 Jahre gebracht – erkennbar an den Linien auf der Schale. Populationen von *Arctica islandica* leben beispielsweise auch in der Ostsee. Dort werden sie aber nur 40 bis 60 Jahre alt. Ein Vergleich isländischer, irischer und baltischer Muscheln zeigt, dass alle Muschelpopulationen trotz unterschiedlicher maximaler Lebensspannen das gleiche Alterungsmuster besitzen. Ihre Sterblichkeit steigt also mit zunehmendem Alter nur leicht. An den Telomeren liegt das anscheinend nicht, denn diese Schutzkappen an den Enden der Chromosomen unterscheiden sich nicht. Die Telomere gelten, gängigen Theorien zufolge, als „Zündschnur des Todes", denn sie verkürzen sich bei jeder Zellteilung um ein winziges Stück und begrenzen somit einer Sanduhr gleich das Leben der Zellen.

Foto: Fotostudio Hagedorn



Links: Tägliche Routine beim Füttern: Fast 2000 Polypen müssen die Forscher jeden Tag mit Futter versorgen. Mit feinen Pipetten geben sie kleine Krebstiere in die Schalen.

Rechts: Hydra kann sich auf sexuelle und asexuelle Weise vermehren. Bei der sexuellen Fortpflanzung produziert ein Individuum Spermien und gibt sie ins Wasser ab. Diese werden von weiblichen Individuen aufgenommen und befruchten deren Eizellen. Der Embryo löst sich vom Mutterorganismus ab, fällt auf den Grund und entwickelt sich dort zum erwachsenen Tier. Bei dieser Form der Fortpflanzung wird das Erbgut der beiden beteiligten Individuen neu gemischt. Häufiger pflanzt sich *Hydra* ungeschlechtlich fort: Aus der Körpermitte wandern Stammzellen in eine Art Knospe, die sich zu einem kompletten Tier samt Fuß und Tentakeln entwickelt. Bei dieser vegetativen Vermehrung sind Mutter und Töchter, bis auf wenige meist unbedeutende Mutationen, genetisch identisch, also Klone.

keit der Tiere über viele Jahre hinweg ermitteln. Aus der Anzahl der jährlichen Toten berechnen sie die Sterbewahrscheinlichkeit für jedes Alter. Dieser Faktor interessiert Demografen von jeher. Beim Menschen ändert sich die Sterbewahrscheinlichkeit kontinuierlich. Meist steigt sie an. Die Änderung der Sterbewahrscheinlichkeit nennen Demografen dann Altern.

In diesem Sinne analysieren die Wissenschaftler im Arbeitsbereich Evolutionäre Biodemografie unter James Vaupel seit geraumer Zeit auch die Sterbewahrscheinlichkeiten von Tieren. Für Biologen wie Schaible eine „ganz andere Welt, in die ich mich erst einmal reindenken musste", wie der Wahl-Rostocker es ausdrückt. Für gewöhnlich betrachten Naturwissenschaftler Altern eher physiologisch und auf der Ebene von Zellen und Molekülen: Muskelkraft und Stoffwechselraten nehmen im Laufe des Lebens ab, das Erbgut verändert sich und so weiter.

Schaible erkannte jedoch, dass das *Hydra*-Experiment die Chance bot zu zeigen, dass Organismen ganz unterschiedlich altern und sterben. Und so führt das Rostocker Team seit neun Jahren akribisch Buch darüber, wann die Polypen geboren werden und wann sie sterben. Inzwischen wissen sie: „*Hydra* hat ein konstantes Sterberisiko, sie altert nicht, weil ihre Sterblichkeit sich mit steigender Lebenszeit nicht verändert."

Das heißt: Egal, ob ein Individuum erst ein Jahr alt ist oder neun: Sein Risiko zu sterben bleibt gleich.

KAUM TODESFÄLLE PRO JAHR

Außerdem ist die Sterblichkeit erstaunlich niedrig, vor allem für ein so kleines Tier. Pro Jahr stirbt nur eines von rund 220 Tieren. Alle anderen machen weiter und weiter und weiter. Der Polyp besitzt daher eine Lebenserwartung von mehreren Jahrhunderten (s. Seite 26) – ist also nicht unsterblich, aber fast. „Man könnte meinen, dass für so einen kleinen, zerbrechlichen Organismus schon zehn Jahre eine Ewigkeit sein müssen", sagt Schaible.

„Die Fachwelt", räumt der Forscher ein, „hat unsere Ergebnisse zunächst einmal belächelt." Zu einfach sei das Experiment gestrickt. Doch die Kritik ebbt allmählich ab – die Daten sind schlicht zu eindeutig. Sie stützen die These, dass Alterungsprozesse extrem plastisch sind und von Genen sowie von Umweltbedingungen beeinflusst werden.

Lebewesen altern also unterschiedlich – eine Erkenntnis, die der gängigen Theorie widerspricht, dass nach Eintritt der sexuellen Reife die Sterblichkeit zunimmt, während die Fruchtbarkeit abnimmt. Die Daten zur Sterbewahrscheinlichkeit und Fortpflanzung von 46 Arten, die James Vaupel und seine Kollegen des Max-Planck-Instituts in Rostock und des Max-Planck Odense Center on the Biodemography of Aging im dänischen Odense ermittelt haben (s. Seite 26), zeigen die Vielfalt an Alterungsmustern in der Natur.

Bei Primaten wie Pavianen und Schimpansen folgt die Sterbewahrscheinlichkeit dem klassischen Verlauf und ähnelt der des Menschen. Bei anderen Arten – etwa der Koralle Farbwechselnde Gorgonie, der Eiche oder der Kalifornischen Gopherschildkröte – nimmt das Sterberisiko sogar bis ins



Zwei Wochen nachdem *Hydra* mit UV-Licht behandelt worden war, haben sich die Polypen sichtlich verändert: Im Unterschied zu unbehandelten Tieren (links) bilden sich bei manchen der behandelten *Hydren* zwei Köpfe, und die Knospen lösen sich nicht ab (Mitte). Bei anderen wachsen in der Knospenzone viele Tentakel (rechts).

Fotos: Ralf Schaible, MPI für demografische Forschung

hohe Alter kontinuierlich ab – wahrscheinlich weil sie immer größer werden und damit Fressfeinden immer besser widerstehen können. Bei vielen Vögeln steigt das Todesrisiko zunächst an, um dann auf einem konstanten Niveau zu verharren. Die konstante und extrem geringe Sterblichkeit von *Hydra* ist jedoch einzigartig im Tierreich.

„Die Alterungsprozesse variieren aber auch innerhalb einer Art oder einer Tiergruppe", erklärt Schaible. Japanische Biologen haben beispielsweise die Art *Hydra oligactis* untersucht. Bei 18 Grad Wassertemperatur produzieren die Tiere emsig Knospen und altern nicht. Bei 14 Grad dagegen beginnt die Art, sich sexuell fortzupflanzen. Das heißt, die Tiere produzieren nur noch Eier und Spermien und sterben nach fünf Monaten. In diesem Fall steigt die Sterbewahrscheinlichkeit mit der Zeit – wie beim Menschen. Bei anderen *Hydra*-Arten nimmt im gleichen Experiment die Sterblichkeit dagegen nicht zu. Sexuelle Fortpflanzung verkürzt bei *Hydra* also die Lebenserwartung nicht generell.

Ob die unterschiedliche Sterblichkeit nur eine Anpassung an niedrigere Temperaturen oder ein echter Alterungseffekt ist, wissen die Forscher daher noch nicht. Offenbar stimmt aber die alte Vorstellung nicht, dass sich in den Zellen eines Organismus über die Jahre Mutationen und andere Schäden ansammeln, an denen er dann zwangsläufig stirbt.

Dank ihrer enormen Regenerationsfähigkeit kann *Hydra* unter den luxuriösen Laborbedingungen diesem Verfall entkommen. Schneidet man einen Süßwasserpolypen in zwei Hälften, wachsen in zwei bis drei Tagen zwei vollständige neue Individuen nach. Selbst wenn man das Tier in fünf Stücke teilt und lediglich 500 Zellen übrig bleiben, kann es sich schnell und präzise regenerieren.

SELBSTERNEUERUNG HÄLT JUNG

Diese Fähigkeit zur Selbsterneuerung verdankt sie Stammzellen, von denen *Hydra* mehr besitzt als spezialisierte Körperzellen. Diese Stammzellen teilen sich zeitlebens und produzieren alle Zelltypen, die für die Neubildung oder Regeneration eines Körpers oder einzelner Körperteile nötig sind. Ihr Körper erneuert sich dadurch laufend, sodass *Hydra* trotz steter Fortpflanzung immer älter werden kann, ohne zu verfallen.

Hydra produziert durch Knospung ständig genetisch identische Nachfahren. Viele genetisch identische Individuen verringern die Wahrscheinlichkeit, dass das Erbgut eines einzelnen Tiers durch widrige Umweltbedingungen ausgelöscht wird. „Offenbar zahlt unsere *Hydra* keinen Preis für ihre verlängerte Lebenszeit, die asexuelle Vermehrung ist gleichzeitig ihr Jungbrunnen", so Schaible.

Möglicherweise ist die Quasi-Unsterblichkeit im Labor auch lediglich ein Nebenprodukt von Anpassungen, welche den Tieren in der Natur helfen zu überleben. Beispielsweise sichert die stetige Neubildung genetisch identischer Nachkommen den Fortbestand des Erbgutes selbst bei hoher umweltbedingter Sterblichkeit. Außerdem erhöht die außerordentliche Regenerationsfähigkeit die Überlebensrate der Polypen, wenn sie beispielsweise von Fressfeinden wie etwa Schnecken angeknabbert werden.

Parallel zum Langzeitexperiment haben die Rostocker Forscher einige kürzere Studien gestartet, um herauszufinden, warum ihre Schützlinge nicht altern. Sie haben die Polypen leichtem Stress ausgesetzt, sie erst normal gefüttert, dann 60 Tage fasten lassen und dann wieder mit Krebsen versorgt. Ergebnis: Die Tiere pflanzen sich effizienter fort. Sie haben also an Lebensenergie gewonnen und sie sinnvoller eingesetzt, was ihr Leben womöglich weiter verlängert.

In einem weiteren Experiment haben die Wissenschaftler die Polypen mit schädlichem UV-Licht bestrahlt oder mit aggressivem Wasserstoffperoxid behandelt. Beides belastet die Tiere erheblich, 30 Prozent starben daraufhin sofort ab. Manche waren deformiert, bildeten mehrere Köpfe oder hatten aufgeschlitzte Tentakel, die meisten haben sich aber wieder erholt und ihre alte Gestalt angenommen. Die Forscher wollten nun wissen, was mit den Schäden passiert, wenn sich die Polypen wieder regenerieren.

„*Hydra* scheint eine intakte Stammzelle von einer geschädigten Zelle unterscheiden zu können. Auf die Schäden reagiert sie dann unterschiedlich", erklärt Schaible. Sind wenige Zellen geschädigt, werden sie in Fuß und Tentakel verfrachtet, wo sie sich spezialisieren und

aufgrund der kurzen Lebensspanne von Körperzellen früher oder später sterben.

Wenn aber zu viele malträtierte Stammzellen den Organismus überschwemmen, wählen die Tiere zwischen zwei unterschiedlichen Strategien: Die einen verhalten sich egoistisch und schieben die lädierten Zellen ab. Sie sammeln sie in den Knospen, aus denen sich neue *Hydren* bilden. „Dadurch werden die Polypen schadhafte Zellen los und leben möglicherweise länger“, sagt Schaible. Die anderen opfern sich in einem selbstlos erscheinenden Akt: Sie packen die wenigen intakten Zellen in die Knospen, aus denen daraufhin gesunder Nachwuchs erwächst. Sie selbst gehen zugrunde.

Durch weitere Experimente wollen die Forscher ermitteln, welche Moleküle hinter der Langlebigkeit ihrer Schützlinge stecken. Im Blick haben sie vor allem das Protein FOXO. So heißt ein sogenannter Transkriptionsfaktor, der die Aktivität vieler Gene reguliert – „eine Art Hauptschalter für Zellerneuerung und Langlebigkeit“, wie Schaible sagt. Mit speziellen Substanzen können die Wissenschaftler den Alterungsprozess von *Hydra* und wahrscheinlich auch die Aktivität von FOXO und anderen Genen verändern. Dadurch steigt die Sterblichkeitsrate der Tiere.

Für Schaible und seine Kollegen ist der extrem langlebige und nicht alternde Polyp ein faszinierender Fall von Langlebigkeit. „Wenn wir in so einem nicht alternden Organismus Gene für das Altern fänden, wäre das schon etwas ganz Besonderes.“ ◂



Was ist das Geheimnis der Langlebigkeit? Ralf Schaible sucht die Antwort auf diese Frage auch in den Genen des Polypen.

Foto: Fotostudio Hagedorn

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Die Wahrscheinlichkeit zu sterben ist für den Süßwasserpolypen *Hydra* zeitlebens konstant – anders als beim Menschen, dessen Sterberisiko im Alter zunimmt.**
- **Zeitlebens aktive Stammzellen verleihen *Hydra* die Fähigkeit, alte Körperzellen durch neue zu ersetzen. So kann sie die im Laufe der Zeit zunehmenden Zellschäden loswerden.**

GLOSSAR

Hydra: Die Gattung *Hydra* gehört zu den Nesseltieren, zu denen auch die Quallen zählen. Biologen kennen rund 20 *Hydra*-Arten, fünf davon in Deutschland. Sie leben in Teichen und Seen und nicht zu schnell fließenden Flussbereichen. Das Tier besteht aus einem Fuß, mit dem es sich am Boden verankert, und einem Kopf mit fünf bis acht Tentakeln. Diese Greifärmchen nutzt das Tier zum Beutefang. Auf den Tentakeln sitzen Nesselzellen, die bei Berührung gifthaltige Nesselkapseln herausschleudern.

Die Altersgrenze **kommt in die Jahre**

Zwangsruhestand mit 65 für Bürgermeister? Mit 30 zu alt, um bei der Feuerwehr anzufangen? Altersgrenzen scheinen heute nicht mehr zeitgemäß, ja geradezu diskriminierend. An einer Grenze halten die meisten jedoch gern fest: an der zum Renteneintritt. **Ulrich Becker**, Direktor am **Max-Planck-Institut für Sozialrecht und Sozialpolitik** in München, befasst sich mit den Besonderheiten altersspezifischer Regelungen und mit deren rechtlichen Finessen.

TEXT **MECHTHILD ZIMMERMANN**

Niemand darf aufgrund seines Alters benachteiligt werden – das legt schon die Charta der Grundrechte der Europäischen Union fest. In Deutschland steht dieses Recht zwar nicht im Grundgesetz, aber das Allgemeine Gleichbehandlungsgesetz (AGG) nennt Alter – neben ethnischer Herkunft, Geschlecht, Weltanschauung, Religion, Behinderung und sexueller Identität – ausdrücklich als Merkmal, das nicht zu Diskriminierung führen darf.

Doch unterscheidet sich der Faktor Alter in verschiedener Hinsicht von allen anderen Kriterien: Eine Altersdiskriminierung betrifft potenziell jeden – jeder gilt irgendwann als alt. Was es aber noch schwieriger macht: „Im Gegensatz zu einer Benachteiligung wegen Religion oder Geschlecht gibt es beim Alter Rechtfertigungsgründe“, sagt Ulrich Becker, Direktor am Max-Planck-Institut für Sozialrecht und Sozialpolitik. Denn es ist eine Tatsache, dass Menschen mit zunehmendem Alter an körperlicher Kraft und oftmals auch an geistigen Fähigkeiten verlieren. Während Beckers Abteilung sich auf normativer Ebene mit den daraus resultierenden Phänomenen befasst, führt die sozialpolitische Abteilung des Instituts empirische Studien durch und untersucht die wirtschaftlichen Konsequenzen.

SCHWIERIGES RECHTLICHES TERRAIN

Ulrich Becker hat sich als Jurist mit dem Thema Alter auf ein schwieriges Terrain begeben. Mit dem von ihm mitherausgegebenen Buch *Recht der Älteren* begann er 2013, das Rechtsgebiet in Deutschland umfassend aufzuarbeiten. Während sich das *Elder Law* in den USA schon seit geraumer Zeit als eigener juristischer Bereich etabliert, hat Becker bei uns Neuland betreten. Zu den Gebieten, die besonders Ältere betreffen, gehören die Rahmenbedingungen von Krankenversicherung und Pflege ebenso wie Fragen der Selbstbestimmung und Vormundschaft sowie das Erbrecht und der rechtliche Rahmen der Altersvorsorge.

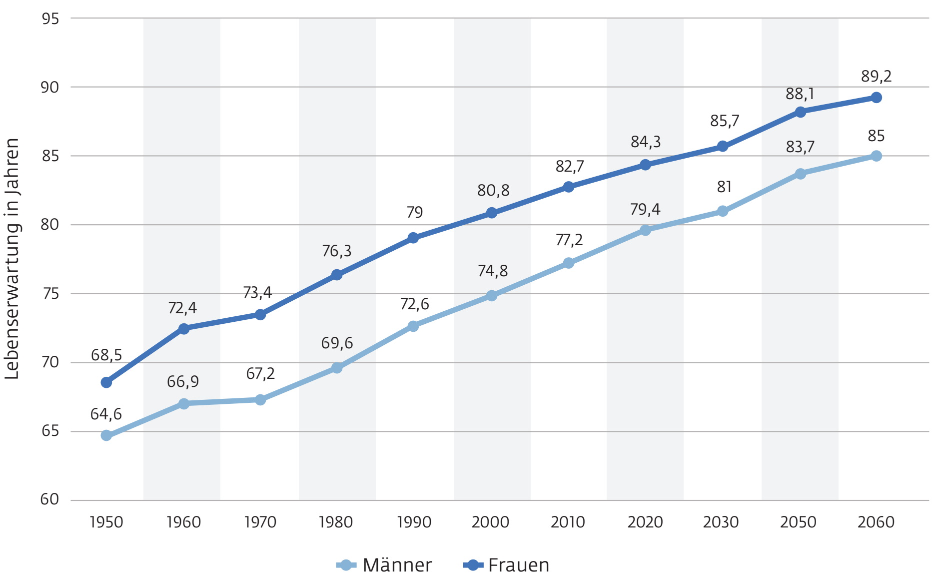
Bereits das kleine Teilgebiet der Altersgrenzen zeigt die Komplexität der Thematik. Und was es noch schwieriger macht: Vieles, was das Thema Alter betrifft, ist im Fluss. Der demografische Wandel stellt Gesellschaft und Politik vor große Herausforderungen. Neue Erkenntnisse über das Altern und die Plastizität des Gehirns, das Wissen, dass die individuellen Fähigkeiten sich mit dem hohen Alter immer stärker unterscheiden – all das wandelt das Bild, das wir von älteren Menschen haben. Zugleich möchten viele Bürger lieb gewonnene Gewohnheiten und Ansprüche beibehalten – während die Kraft des Faktischen längst andere Tatsachen schafft.

Wohin man auch blickt: In Politik, Wirtschaft, Religion und Kultur wirken Persönlichkeiten jenseits des Rentenalters an wichtiger Position – gestalten, stellen Weichen, tragen Verantwortung: Der Besuch der britischen Königin (89)

Foto: Christopher Robbins / Thinkstock

Die klassische Altersgrenze von 65 Jahren erscheint nicht mehr zeitgemäß in einer Gesellschaft, in der individuelle Fähigkeiten mehr zählen als formale Kriterien. Die Suche nach Alternativen gestaltet sich jedoch schwierig.





Links: Während die Lebenserwartung von Frauen (dunkelblau) und Männern (hellblau) in Deutschland immer weiter steigt, sind Altersgrenzen für öffentliche Ämter oder ehrenamtliche Tätigkeiten seit Jahrzehnten gleich geblieben. Betroffene empfinden das als diskriminierend.

Rechts: Ulrich Becker (Zweiter von rechts) bespricht mit seinen Mitarbeitern Lorena Ossio und Michael Schlegelmilch die Zusammenhänge zwischen den Faktoren Alter, Produktivität und Einkommen.

in Berlin war ein mediales Großereignis, auch wegen der Vielzahl an Terminen, die sie wahrnahm. Bundesfinanzminister Wolfgang Schäuble (72) steht seit Monaten nervenzehrende Verhandlungen mit seinen europäischen Kollegen über den Euro durch. Ebenso selbstverständlich trägt Mario Draghi (67) die Last der Verantwortung als Präsident der Europäischen Zentralbank mit.

NEUER VERTRAG MIT 72 JAHREN

Papst Franziskus (78) hat vor zwei Jahren begonnen, frischen Wind in die katholische Kirche zu bringen. Daniel Barenboim (72) hat seinen Vertrag als Generalmusikdirektor der Berliner Staatsoper Unter den Linden vor nicht langer Zeit bis 2022 verlängert. Und keiner käme auf die Idee, die Fähigkeiten der Genannten infrage zu stellen oder gar ihren Rückzug ins Rentnerdasein zu fordern.

Etliche Altersgrenzen sind in den vergangenen Jahren ohnehin gefallen. So dürfen Ärzte ihre Kassenzulassung inzwischen auch nach ihrem 68. Geburtstag behalten. Zunehmend geben Gerichte Klagen von Betroffenen recht: So dürfen Piloten nach einem Urteil des Europäischen Gerichtshofes nicht mehr zwangsweise mit 60 Jahren in den Ruhestand geschickt werden. Und das Bundesverwaltungsgericht erklärte Höchstaltersgrenzen für öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige für unzulässig.

An anderen Stellen des öffentlichen Lebens gelten Altersgrenzen jedoch nach wie vor: Bürgermeister und Landräte dürfen in den meisten Bundesländern nicht älter sein als 60 bis 65, wenn sie sich zur Wahl stellen. Erst im Jahr 2013 lehnte das Bundesverfassungsgericht eine Beschwerde gegen die entsprechende Regelung in Bayern ab. Begründung: Die Altersgrenze sei geeignet, „um eine kontinuierliche und effektive Amtsführung zu gewährleisten, und zwar voraussichtlich bis zum Ende der regulären Amtszeit.“ Auch Schöffen müssen ihre ehrenamtliche Tätigkeit bei Amts- und Landgerichten mit 70 Jahren beenden. Das Amt von Notaren erlischt, wie es im Gesetz heißt, ebenfalls zum 70. Geburtstag.

Wozu noch Altersgrenzen? Wäre es nicht das Einfachste, alle Grenzen abzuschaffen, wie man es von den USA hört? Wer Ulrich Becker diese Fragen stellt, darf keine schnelle und simple Antwort erwarten. „Altersgrenzen erfüllen verschiedene Funktionen, das sollte man sich unbedingt bewusst machen“, sagt er. So gibt es Untergrenzen, die sicherstellen sollen, dass Personen eine bestimmte Voraussetzung mitbringen für eine Tätigkeit, die im öffentlichen Interesse ist. Kandidaten für die Wahl des Bundespräsidenten müssen mindestens 40 Jahre alt sein, ebenso Richter am Bundesverfassungsgericht.

Obergrenzen wiederum dienen oft dem Schutz Dritter oder der Öffentlichkeit: So werden Polizisten und Feuerwehrleute früher in den Ruhestand geschickt, weil sie in den Einsätzen nicht nur körperlich stark gefordert sind, sondern auch die Sicherheit der Bürger von ihrer Einsatzbereitschaft und -fähigkeit abhängt. Entsprechend niedriger ist das Alter, bis zu dem neue Bewerber für diese Berufe akzeptiert werden. Die Begründung: Wenn ein Arbeitgeber in die Ausbildung oder Einarbeitung eines Mitarbeiters investiert, sollte sich diese Investition noch lohnen.

Altersgrenzen können zudem die betreffende Person selbst schützen, wenn anzunehmen ist, dass von einem gewissen Alter an die Belastung des Be-

Grafik: Sachverständigenrat Wirtschaft / Statista 2015



rufs zu hoch wird. Das ist ein weiterer Grund dafür, dass Polizisten und Feuerwehrleute ebenso wie Soldaten und Bergleute früher aus dem Beruf ausscheiden dürfen als andere. Solche Ausnahmen sind in den Gleichbehandlungsrichtlinien und -gesetzen ausdrücklich formuliert.

ALTERNDE BEVÖLKERUNG STELLT GRENZEN INFRAGE

„Alle Regelungen für Altersgrenzen haben gemeinsam: Sie zeichnen eine Lebenstreppe nach, wie man sie aus früheren Jahrhunderten kennt", erklärt Ulrich Becker. „Zu Beginn des Lebens ist die Zeit des Lernens, die Eltern kümmern sich um den Lebensunterhalt. In der Lebensmitte wird erwartet, dass Erwachsene für sich selbst sorgen und in Familie, Beruf und Öffentlichkeit Verantwortung übernehmen. Und am Lebensabend, wenn alte Menschen nicht mehr arbeitsfähig sind, springt wieder die Familie ein oder seit Ende des 19. Jahrhunderts der Staat."

Prinzipiell ist diese Einteilung auch heute noch gültig. Allerdings hat sich die Lebenserwartung in den vergangenen 100 Jahren um mehr als 60 Prozent erhöht. Demografen attestieren den heute 70-Jährigen im Durchschnitt eine körperliche und geistige Fitness, wie sie 65-Jährige vor 30 Jahren hatten. „Mit einer alternden Bevölkerung sind Altersgrenzen tendenziell immer zu niedrig", folgert Becker. „Wir müssten die Altersgrenzen regelmäßig überprüfen und anpassen – was leider viel zu selten passiert."

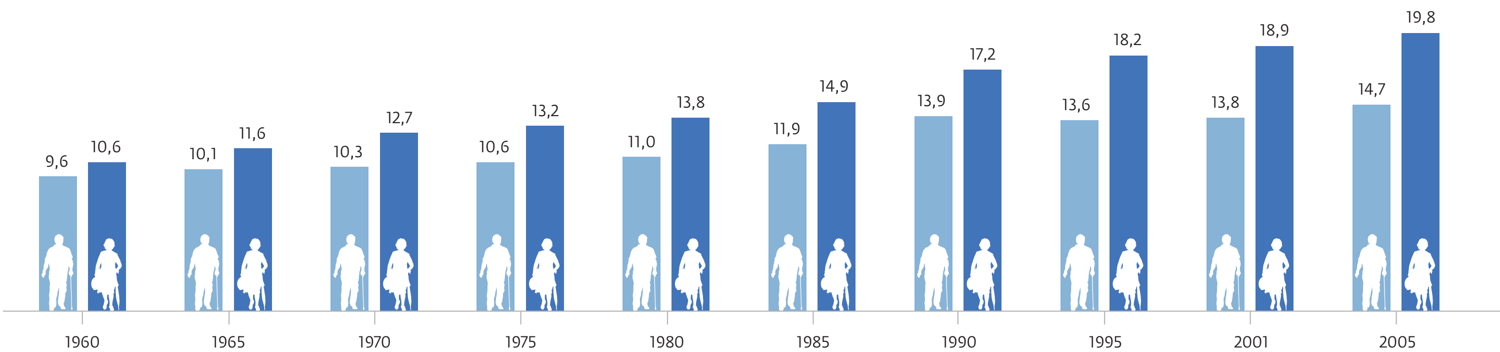
Besonders kritisch ist die Situation in der Rentenversicherung. Derzeit beziehen Rentner in Deutschland im Schnitt mehr als 19 Jahre Rente, 1960 waren es zehn Jahre. Trotzdem sind alle Reformen, welche den Rentenbeginn auf ein höheres Alter schieben, äußerst unpopulär. So ergab im vergangenen Jahr eine Umfrage von Infratest Dimap, dass mehr als die Hälfte der Deutschen gern schon mit 63 Jahren in Rente gehen würde. Ein knappes Drittel ist bereit, bis zum regulären Renteneintrittsalter weiterzuarbeiten, und nur 14 Prozent können sich vorstellen, über die reguläre Altersgrenze hinaus im Beruf zu bleiben.

Es ist bemerkenswert, wie stark der Anspruch auf Rente unsere Einstellung zum Arbeiten verändert: Während man Jüngeren, die nicht arbeiten, vorwirft, auf Kosten der Gemeinschaft zu leben, wandelt sich die Sichtweise mit dem Stichtag des Rentenbeginns radikal. Das betrifft auch und gerade das Selbstbild: Vor der Rente definieren sich viele über ihren Beruf und ziehen einen wesentlichen Teil ihres Selbstwertgefühls aus der Erwerbsarbeit. Danach hat sich der Mensch nicht komplett verändert – weder körperlich noch geistig oder charakterlich –, und doch ist es für ihn wie für die Gesellschaft vollkommen selbstverständlich, dass er nicht mehr zu arbeiten braucht.

STUDIEN BELEGEN DIE PRODUKTIVITÄT ÄLTERER

Das Argument, dass ältere Menschen weniger produktiv sind als jüngere und deshalb schon aus wirtschaftlicher Sicht rechtzeitig in den Ruhestand gehen sollten, lässt sich empirisch nicht bestätigen: Am Munich Center for the Economics of Aging (MEA), der zweiten Abteilung am Max-Planck-Institut für Sozialrecht und Sozialpolitik unter der Leitung von Axel Börsch-Supan, wurden dazu Studien durchgeführt. Danach erbringen Teams, an denen ältere Arbeitnehmer beteiligt sind, die gleiche

Foto: Axel Griesch



Leistung wie Teams, die aus jüngeren Beschäftigten zusammengesetzt sind. Das ließ sich sowohl für das produzierende Gewerbe als auch für den Dienstleistungsbereich nachweisen.

Ebenso wenig ist das Argument wissenschaftlich haltbar, dass ältere Arbeitnehmer sich lieber aus dem Beruf zurückziehen sollten, um länger fit zu bleiben. Im Gegenteil: Frührentner bauen im Durchschnitt geistig schneller ab als Gleichaltrige, die länger arbeiten. Eine Ursache könnte laut Axel Börsch-Supan darin liegen, dass der Arbeitsplatz auch ein Anker des sozialen Lebens ist: Auch ungeliebte Kollegen scheinen besser zu sein als soziale Isolation, weil sie kognitive Herausforderungen bieten, die den Geist aktiv und gesund halten.

Warum wollen wir die klare Trennlinie zwischen Erwerbsleben und Ruhestand dennoch nicht aufgeben? Ulrich Becker führt das auf die symbolische Funktion der Rentenaltersgrenze zurück. Den Ursprung dafür sieht er in der historischen Entwicklung: Die erste deutsche Rentenversicherung sah ab 1891 für Arbeiter eine Invalidenrente bei Erwerbsunfähigkeit sowie eine Altersrente ab 70 Jahren vor – und das bei der damals üblichen 60-Stunden-Woche und nur wenigen Tagen Urlaub im Jahr.

„Mit 70 konnte man damals tatsächlich nicht mehr arbeiten", sagt Becker. 1916 wurde die Altersgrenze auf 65 Jahre herabgesetzt, so wie es in vielen anderen Ländern bereits üblich war. 1952 übernahm auch die Internationale Arbeitsorganisation 65 Jahre als angemessenes Alter für den Renteneintritt – und das trotz damals bereits deutlich gestiegener Lebenserwartung.

„Damit haben wir uns von der Grundidee entfernt, dass die Rente den Verlust der Arbeitsfähigkeit ausgleichen soll", analysiert Ulrich Becker. „Das Rentenalter wurde von der Lebenstreppe abgekoppelt." Stattdessen wurde festgelegt, bis wann der Einzelne selbst für seinen Lebensunterhalt sorgen muss und ab wann die Gesellschaft dafür verantwortlich wird. „Das ist das Problem, das wir jetzt haben, wenn wir im 21. Jahrhundert die Grenze wieder hochsetzen", so Becker. „Die Eintrittsgrenze hat sich verselbstständigt, sie hat ein Verhaltensmuster in unseren Köpfen festgemacht – und von dem müssen wir uns so langsam verabschieden." Ein schwerer Abschied, umso schwerer, als die Grenze bei 65 nicht stabil war.

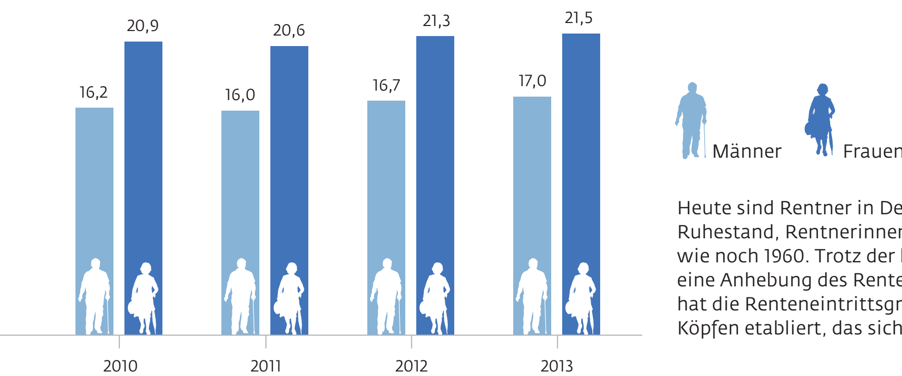
RENTENPOLITIK IM ZICKZACKKURS

In den vergangenen Jahrzehnten hat die Politik einen Zickzackkurs gefahren, was das Rentenalter betrifft. Ende der 1980er-Jahre wurden Frühverrentungsprogramme eingeführt, damit Ältere den Jüngeren Arbeitsplätze frei machen. Allerdings haben sich solche Programme für den Arbeitsmarkt als weitgehend wirkungslos erwiesen, weil Firmen in wirtschaftlich schlechten Zeiten die Frühverrentung zum Arbeitsplatzabbau nutzen.

Nach der Jahrtausendwende wurde immer klarer, dass die Rentenversicherung den demografischen Wandel nicht bewältigen kann. Im Jahr 2008 beschloss die Bundesregierung, schrittweise die Rente mit 67 einzuführen. Im vergangenen Jahr gab es dann wieder einen Schritt zurück mit der Einführung der Rente für langjährig Versicherte, die es zumindest einigen Jahrgängen ermöglicht, mit 63 in den Ruhestand zu gehen.

Die Idee dahinter, nämlich den Rentenbeginn an die Dauer der Beitragszeit zu koppeln, könnte zwar eine Alternative zur klassischen Altersgrenze darstellen. Becker hält diese Variante – zumindest in der aktuellen Ausgestaltung – aber nicht für sinnvoll: „Wenn den Leuten vor Augen geführt wird, dass man nicht bis 65 arbeiten muss, geschweige denn bis 67, dann sendet man das falsche Signal."

Eine weitere Möglichkeit wären individuelle Tests ab einem gewissen Alter, um zu entscheiden, ob der Einzelne gesund und leistungsfähig genug ist, seinen Beruf weiter auszuüben. Auf den ersten Blick erscheint es in unserer individualisierten Gesellschaft durchaus zeitgemäß, Personen nicht mehr allein nach ihrem Alter zu beurteilen, sondern nach ihrer persönlichen Verfassung. Ulrich Becker sieht jedoch einen gravierenden Nachteil: „Für den Ein-



Heute sind Rentner in Deutschland durchschnittlich 17 Jahre im Ruhestand, Rentnerinnen sogar mehr als 21 Jahre – doppelt so lange wie noch 1960. Trotz der hohen Belastung für die Rentenkassen ist eine Anhebung des Rentenalters äußerst unpopulär. Laut Ulrich Becker hat die Renteneintrittsgrenze ein Verhaltensmuster in unseren Köpfen etabliert, das sich nur schwer ändern lässt.

zelnen kann das ziemlich unangenehm werden. Stellen Sie sich vor, Sie bekommen gesagt, dass Ihre Leistungsfähigkeit nachlässt und Sie nicht mehr geeignet sind, Ihre bisherige Position auszufüllen."

Klare Grenzen garantieren außerdem eine gewisse Vorhersehbarkeit und Planbarkeit– nicht nur für die Rentenversicherung, sondern etwa auch für Arbeitgeber. Ulrich Becker sieht auch diese Seite der Medaille: „In der Frage des Rentenbeginns geht es ja auch darum, wie wir Arbeitsverhältnisse regeln, also: Wann endet ein Arbeitsverhältnis? Bisher lautet die Antwort: mit dem Erreichen der Regelaltersgrenze. Das ist zum Beispiel in vielen Tarifverträgen festgeschrieben."

Gäbe es keine Altersgrenze mehr, könnte zwar der Arbeitnehmer jederzeit sein Arbeitsleben beenden. Aber sein Arbeitgeber könnte nicht sinnvoll planen und müsste möglicherweise jahrelang einen Mitarbeiter beschäftigen, der vielleicht doch nicht mehr im Vollbesitz seiner Kräfte ist.

„Das ist der Grund, weshalb die Rentenaltersgrenze in Deutschland nicht so einfach abgeschafft werden kann wie in den USA: Dort können Arbeitgeber Mitarbeiter leicht und schnell kündigen. Aber bei uns in Deutschland ist der Kündigungsschutz sehr stark. Und er gilt als hohes Gut", sagt der Max-Planck-Forscher. Wollte man die Lebensarbeitszeit hierzulande flexibel verlängern – wie es auch Ulrich Becker für sinnvoll hält –, bräuchte man spezielle Regelungen, damit zumindest diejenigen, die im Alter gern noch arbeiten wollen, diese Möglichkeit unkompliziert bekommen.

BALANCE ZWISCHEN ARBEITSLEBEN UND RUHESTAND

Am Kündigungsschutz würde auch Becker nicht grundsätzlich rütteln. Stattdessen könnte er sich befristete Arbeitsverträge für Ältere vorstellen. Dazu müsste jedoch das Kriterium „Alter" als Befristungsgrund ins Gesetz aufgenommen werden. „Oder man könnte den Kündigungsschutz der Lebenstreppe nachbauen", schlägt Becker vor. „Also die Hürden für eine Kündigung bei Jüngeren höher legen als bei Älteren. Allerdings sehen Sie auch hier: Wir kommen einfach nicht drum herum, irgendwo eine Altersgrenze zu setzen."

Die Überlegungen Ulrich Beckers machen deutlich: Gerade im Sozialrecht scheitern scheinbar einfache Lösungsideen, wie die Abschaffung von Altersgrenzen, schnell an der Realität. Becker rät, in all den Debatten das Wesentliche im Blick zu behalten: „Wenn jemand in Rente geht, soll er vor Altersarmut gesichert sein." Der zweite Aspekt ist, dass wir angesichts des demografischen Wandels länger selbst für unseren Lebensunterhalt sorgen müssen. Und hier sucht Becker einen Ausgleich zwischen den teilweise extremen Positionen in der Rentendiskussion.

„Wir nähern uns derzeit der ursprünglichen Intention wieder an, dass Rente den Lebensunterhalt sichert, wenn ein Mensch nicht mehr in der Lage ist zu arbeiten", sagt der Wissenschaftler. „Aber wir wollen ja nicht dahin zurück, dass die Menschen arbeiten, bis sie umfallen. Wir möchten, dass die Leute ihren Ruhestand genießen können – nur nicht ganz so lange." Die Kunst bestehe darin, eine neue Balance zwischen Erwerbsleben und Ruhestand zu finden, die der Situation des Einzelnen gerecht wird. ◂

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Durch steigende Lebenserwartung und die zunehmende Fitness von Menschen zwischen Mitte 60 und Mitte 70 sind viele der bisherigen Altersgrenzen zu niedrig.**
- **Den Rentenbeginn auf ein höheres Alter zu verschieben ist jedoch unpopulär, weil die Grenze zum Rentenalter seit Jahrzehnten den Zeitpunkt markiert, zu dem es gesellschaftlich akzeptiert ist, nicht mehr zu arbeiten.**
- **Die klassischen Altersgrenzen abzuschaffen oder Alternativen einzuführen erweist sich rechtlich als kompliziert.**

Langschläfer werden häufiger betrogen

Tagesrhythmus beeinflusst Vaterschaft bei Kohlmeisen

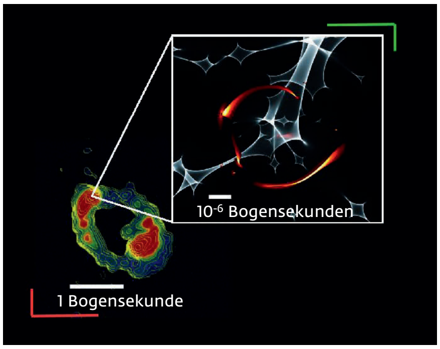


Spätes Aufstehen ist gemütlicher, aber es verringert auch den Fortpflanzungserfolg – zumindest wenn man eine Kohlmeise ist. Forscher des Max-Planck-Instituts für Ornithologie in Seewiesen und Radolfzell haben herausgefunden, dass Kohlmeisen-Männchen, die später als ihre Artgenossen aufstehen, öfter von ihren Weibchen betrogen werden. Wann die Tiere morgens aufwachen, konnten die Forscher mithilfe von Minisendern überwachen. Außerdem schoben sie einem Teil der Männchen ein kleines Implantat mit Melatonin unter die Haut – ein Hormon, das wichtig für die Regulierung der inneren Uhr ist. Vögel, die ein Melatonin-Implantat erhalten hatten, wachten dadurch etwas später auf. Anstatt also früh wach zu sein und das Weibchen gegen Konkurrenten zu verteidigen, schliefen die Männchen mit dem Implantat noch tief und fest. Ihre Ehefrauen vergnügten sich währenddessen mit anderen Männern. Viele der Küken in den Nestern stammten deshalb von anderen Männchen.
(Functional Ecology, 3. Juni 2015)

Ein Sender auf dem Rücken der Kohlmeise verrät den Forschern, wann das Tier am Morgen erwacht.

Schwarzes Loch unter der Gravitationslinse

In den Zentren fast aller Galaxien lauern supermassereiche schwarze Löcher. In deren Umgebung spielen sich turbulente Vorgänge ab. So verschlucken die Massemonster von außen einströmende Materie und erzeugen gleichzeitig Gasstrahlen – sogenannte Jets –, die in zwei entgegengesetzte Richtungen ins All hinausschießen. Forschern des Max-Planck-Instituts für Physik in München und der Universität Genf ist es nun gelungen, den Herkunftsort energiereicher Gammastrahlung in einem solchen Jet zu lokalisieren. Dazu beobachteten sie eine aktive Galaxie namens PKS 1830-211, deren einer Jet zufällig in Richtung der Erde gerichtet ist. Zudem befindet sich auf halber Strecke zwischen diesem Blazar und uns eine Galaxie, die als Gravitationslinse wirkt und das Licht verstärkt. Aus den beobachteten Effekten schließen die Wissenschaftler, dass die registrierte Gammastrahlung aus einer einige zehn Milliarden Kilometer großen, kompakten Region stammt und ganz in der Nähe des schwarzen Lochs erzeugt wird, also gewissermaßen am Fußpunkt des Jets.
(Nature Physics, online 6. Juli 2015)



Blick auf eine ferne Galaxie: Die Radiokarte (links unten) zeigt das durch den Gravitationslinseneffekt verzerrte Bild des Blazars PKS 1830-211. Der rechte Ausschnitt ist eine Simulation des Mikro-Gravitationslinseneffekts im Gammabereich; eine direkte Beobachtung des orangefarbenen Rings – er stellt ebenfalls Bilder des Blazars dar – ist wegen seiner geringen Ausdehnung nicht möglich.

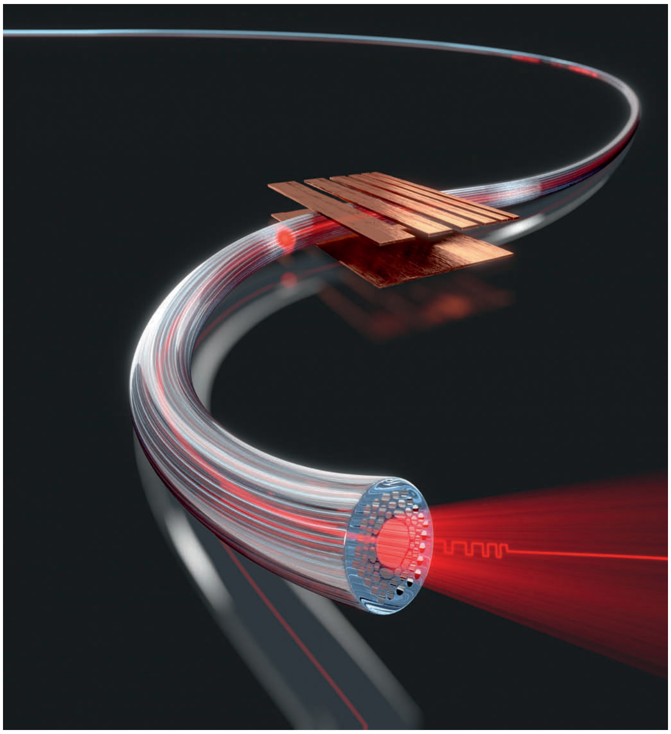
Alzheimer verschont Musikgedächtnis

Alzheimer löscht einen Großteil des Gedächtnisses. Nur die Erinnerung an Musik scheint die Erkrankung auszusparen, denn Alzheimer-Patienten können sich oft selbst dann noch an Musikstücke erinnern, wenn andere Gedächtnisinhalte schon verblasst sind. Manchmal singen sie sogar Liedzeilen mit, obwohl sie sonst kaum mehr sprechen können. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig wollten wissen, warum Alzheimer die Erinnerung an Musik weniger beeinträchtigt. Dazu mussten sie zunächst den Sitz des Musikgedächtnisses im Gehirn finden. Die Forscher haben Alzheimer-Patienten Top-10-Hits, Kinderlieder, Oldies und bekannte Klassikstücke vorgespielt und dabei die Gehirnaktivität mittels Kernspin gemessen. Dadurch identifizierten sie die sogenannte supplementär-motorische Hirnrinde als Ort des Langzeit-Musikgedächtnisses. Analysen von Alzheimer-Gehirnen zeigen, dass dieses Gebiet von der Erkrankung weniger stark in Mitleidenschaft gezogen wird: Es verliert weniger Nervenzellen als das übrige Gehirn, und der Stoffwechsel sinkt nicht so stark ab. (Brain, 3. Juni 2015)

Fotos: Timothy Greives (oben), Patnaik et al. 1994, Liege Conference on Gravitational Lenses and the Universe / Vovk (unten)

Ein Sensor für alle Fälle

Ein fliegendes Mikrokügelchen in einer hohlen Glasfaser misst Temperatur, Vibrationen und elektrische Felder mit hoher räumlicher Auflösung



Glasfasern können mehr, als Daten transportieren. Ein spezieller Typ von Glasfasern lässt sich auch als hoch präziser Mehrzwecksensor nutzen, wie Forscher des Max-Planck-Instituts für die Physik des Lichts in Erlangen gezeigt haben. Durch das Innere dieser photonischen Kristallfasern, die der Länge nach von regelmäßig angeordneten hohlen Kanälen durchzogen werden, schickten die Wissenschaftler ein winziges Glaskügelchen. Die Bewegung des Kügelchens wird durch unterschiedliche physikalische Größen wie ein elektrisches Feld, die Temperatur oder Vibrationen beeinflusst. Wie sich die Bahn des Kügelchens dabei verändert, lässt sich mit einem Laser messen. Das fliegende Teilchen erfasst die Messgrößen über lange Strecken hinweg mit hoher Ortsgenauigkeit, und das sogar unter rauen Bedingungen. Der derzeit bis zu 400 Meter lange Fasersensor könnte etwa helfen, Schäden an Hochspannungsleitungen aufzuspüren.
(Nature Photonics, online 8. Juni 2015)

Im Flug bestimmt: Ein Mikrokügelchen, das durch den hohlen Kanal im Innern einer photonischen Kristallfaser fliegt, misst verschiedene physikalische Größen, zum Beispiel das elektrische Feld von Elektroden.

Der Neandertaler in uns

Ein Knochenfund aus Rumänien zeigt, dass sich Frühmenschen in Europa miteinander vermischt haben

Die Neandertaler sind vor etwa 40 000 Jahren ausgestorben, doch in unserem Erbgut leben sie bis heute weiter: Menschen aus Europa und Asien besitzen noch etwa ein bis drei Prozent Neandertaler-DNA. Wahrscheinlich haben sich die beiden Menschenformen vor 50 000 bis 60 000 Jahren im Nahen Osten miteinander vermischt. Zu dieser Zeit verließ der moderne Mensch Afrika und breitete sich über den Rest der Welt aus. Allerdings könnte die Vermischung auch in Europa stattgefunden haben, denn hier haben moderne Menschen und Neandertaler bis zu 5000 Jahre lang gemeinsam gelebt. Ein internationales Wissenschaftlerteam, darunter Forscher des Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie, haben nun in einem 37 000 bis 42 000 Jahre alten menschlichen Unterkiefer aus der Oase-Höhle in Rumänien sechs bis neun Prozent Neandertaler-DNA gefunden. Das ist mehr als bei jedem anderen bisher sequenzierten Menschen. Da lange Abschnitte der Chromosomen vom Neandertaler stammen, muss dieser Mensch vier bis sechs Generationen früher einen Neandertaler-Vorfahren in seinem Stammbaum gehabt haben. Offenbar hat der Mensch aus der Oase-Höhle aber keine direkten Nachkommen im heutigen Europa. Einige der ersten modernen Menschen haben sich folglich in Europa mit den dort lebenden Neandertalern vermischt, sind dann jedoch ausgestorben.
(Nature, 22. Juni 2015)



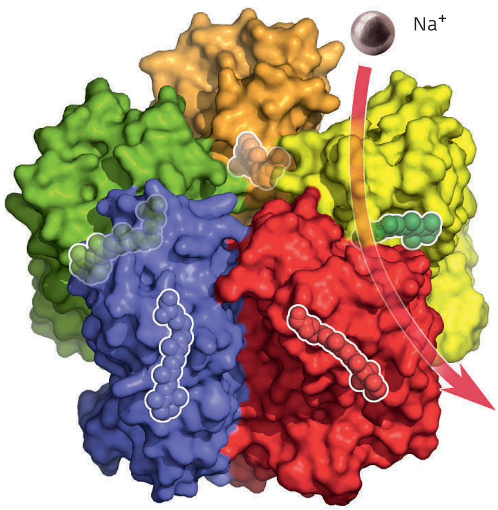
Teils moderner Mensch, teils Neandertaler: Der 40 000 Jahre alte Unterkiefer gehörte einem modernen Menschen mit Neandertaler-Vorfahren.

Fotos: Luca Fiorentini (oben), MPI für evolutionäre Anthropologie/Svante Pääbo (unten)

Schalter für Nervenzellen

Die lichtempfindliche Ionenpumpe KR2 transportiert Natriumionen aus Neuronen heraus

Manchmal ist der Weg vom Meeresgrund zum Instrument der Hirnforschung kurz: Etwa im Fall der Ionenpumpe KR2, die Wissenschaftler vor zwei Jahren in der Zellwand des Meeresbakteriums *Krokinobacter eikastus* entdeckt haben. KR2 ist ein lichtempfindliches Protein, das positiv geladene Natriumionen aktiv nach außen transportiert. Wissenschaftler können solche Ionentransporter in die Membran von Nervenzellen einbauen und so deren Aktivität durch Lichtreize steuern – diese Methode der Neurowissenschaften wird als Optogenetik bezeichnet. Eine Pumpe wie KR2, die Natrium aus der Zelle hinaustransportiert, fehlt jedoch bislang im Werkzeugkasten der Optogenetik. Ein internationales Forscherteam hat nun den atomaren Aufbau von KR2 entschlüsselt. Zusammen mit Forschern des Max-Planck-Instituts für Biophysik in Frankfurt haben sie zudem entdeckt, dass KR2 durch den Austausch einer Aminosäure von einer Natrium- zu einer Kaliumpumpe wird. Neurowissenschaftler könnten das Protein damit als effektiven Ausschalter für Nervenzellen einsetzen, denn ausströmende Kaliumionen inaktivieren Nervenzellen. Zusammen mit Channelrhodopsin 2, einem lichtgesteuerten Kanal, durch den Natrium- und Calciumionen in die Zelle hineinströmen, würde die Kaliumpumpe dann ein ideales Paar bilden, um Nervenzellen präzise an- und abzuschalten. (NATURE STRUCTURAL & MOLECULAR BIOLOGY, 6. April 2015)

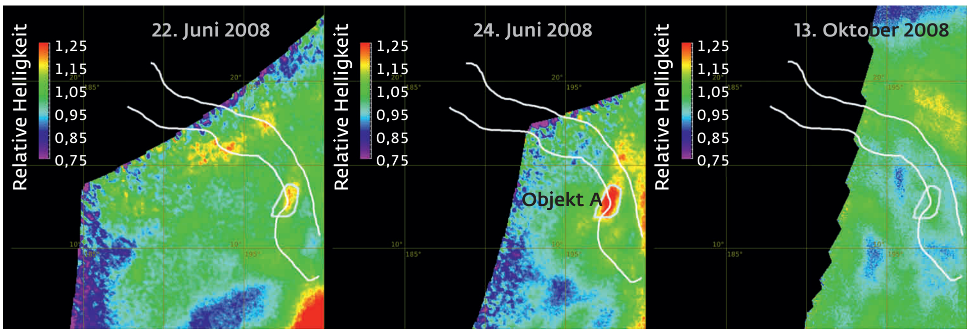


Der KR2-Komplex, von der Seite gesehen. Jedes der fünf KR2-Moleküle bindet und transportiert ein Natriumion (lila). Die Pumpaktivität wird durch die kleinen, lichtempfindlichen Retinalmoleküle gesteuert (weiß umrandet).

Heiße Lavaströme auf der Venus

Mit einer Kamera an Bord der Raumsonde *Venus Express* entdecken Forscher deutliche Anzeichen von aktivem Vulkanismus

Die Venus gilt als Schwester der Erde: Beide Planeten sind fast gleich groß und im Innern ähnlich aufgebaut. Forscher halten es daher für wahrscheinlich, dass unser Nachbar einen heißen Kern besitzt, dessen Wärme irgendwie entweichen muss. Eine Möglichkeit dafür bieten Vulkanausbrüche. So könnte vor etwa 500 Millionen Jahren eine gewaltige Lavaflut die Venusoberfläche komplett umgestaltet haben. Aber ist der Himmelskörper noch immer vulkanisch aktiv? Ein internationales Team unter Leitung des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung hat jetzt den bisher besten Hinweis darauf vorgelegt. Die Wissenschaftler werteten Messdaten der ESA-Raumsonde *Venus Express* aus und identifizierten auf Fotos aus dem Jahr 2008 vier Regionen, deren Temperaturen in wenigen Tagen dramatisch angestiegen waren. Größe und Temperatur des kleinsten dieser „Hotspots" schätzen die Forscher auf etwa einen Quadratkilometer und 830 Grad Celsius. Zum Vergleich: Die globale Durchschnittstemperatur auf der Oberfläche beträgt 480 Grad Celsius. (GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, online Mai 2015)



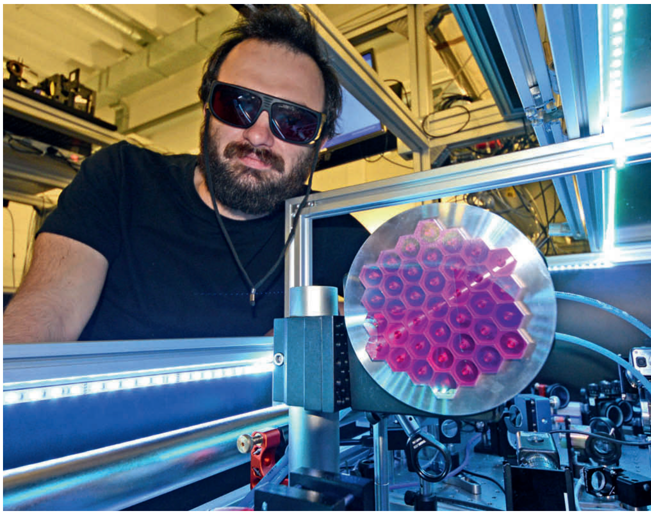
Spuren auf der Oberfläche: Die Karten zeigen Helligkeitsänderungen im Vergleich zur durchschnittlichen Helligkeit in der Atla-Region, in der sich die Ganiki-Riftzone befindet, aufgenommen an drei verschiedenen Tagen. Rot und orange steht für eine Zunahme, blau und grün für eine Abnahme der Helligkeit. Ein Gebiet, das „Objekt A", sticht am 24. Juni 2008 deutlich hervor.

Fotos: Forschungszentrum Jülich/IBS Grenoble (oben), E. Shalygin et al (2015) (unten)

Eine neue Röntgenquelle für die Medizin

Mit einer Lichtquelle für harte, brillante Röntgenstrahlung lassen sich kleinste Strukturen in der Materie sichtbar machen

Knochenbrüche, Tumore oder Arteriosklerose – mit Röntgenuntersuchungen spüren Ärzte heute zahlreiche Krankheiten auf. Und künftig könnten Röntgenaufnahmen noch aussagekräftiger werden. Denn Physiker der Ludwig-Maximilians-Universität in München und am Max-Planck-Institut für Quantenoptik erzeugen jetzt besonders brillantes Röntgenlicht mit scharf definierter, aber variabler Wellenlänge in einem vergleichsweise kompakten Gerät. Sie zwingen Elektronen von gasförmigen Wasserstoffatomen mit extrem intensiven Laserpulsen auf eine Wellenbahn, wobei die Teilchen das gewünschte Licht abgeben. Diese Röntgenstrahlung ermöglicht es, Strukturen aufzulösen, die wenig mehr als zehn Mikrometer groß und unterschiedlich zusammengesetzt sind – und zwar nicht nur in der Medizin, sondern auch in der Biologie und der Materialwissenschaft. Bislang entsteht Strahlung der dafür nötigen Qualität nur in großen und teuren Synchrotron-Anlagen.
(Physical Review Letters, 14. Mai 2015)



Mit Laserlicht zum Röntgenblitz: Mit dem ATLAS-Lasersystem der Ludwig-Maximilians-Universität erzeugen Konstantin Khrennikov und seine Kollegen brillantes Röntgenlicht.

Mutige Grillen leben kürzer

Unterschiedliche Persönlichkeiten bei Feldgrillen beeinflussen ihr Überleben



Grille vor ihrem Bau. Die Markierung auf ihrem Rücken dient den Forschern zur Identifizierung.

Menschen besitzen eine eigene Persönlichkeit: Sie sind ängstlich, kühn, vorsichtig oder abenteuerlustig. Diese Eigenschaften finden sich auch bei Tieren. Forscher des Max-Planck-Instituts für Ornithologie in Seewiesen haben nun in einer freilebenden Feldgrillen-Population Individuen mit unterschiedlichem Risikoverhalten und damit möglicherweise unterschiedlicher Persönlichkeit gefunden. Sie haben in einer eingezäunten Wiesenfläche sämtliche Grillen markiert und deren Verhalten beobachtet. Ein Kriterium für die Risikobereitschaft war die minimale Distanz, ab der die Tiere die Flucht ergreifen, wenn sich eine potenzielle Bedrohung nähert. Die Analysen haben ergeben, dass sich die Grillen stark in ihrer persönlichen Fluchtdistanz und der Entfernung unterscheiden, wie weit sie sich von ihrer Wohnhöhle wegtrauen. Ob der Wagemut Vorteile bei der Partner- oder Nahrungssuche bringt, ist noch nicht ganz klar, er hat jedenfalls auch Nachteile: Wagemutige Feldgrillen sterben früher als weniger draufgängerische Tiere, da Räuber wie Spitzmäuse und Vögel sie häufiger erbeuten. (Behavioral Ecology, 22. April 2015)

Fotos: Thorsten Naeser (oben), MPI für Ornithologie/ P. Niemelä (unten)

Im Takt mit dem Chef

Wer das Richtige zum passenden Zeitpunkt sagt, wird häufig der Anführer einer Gruppe

Gute Führungskräfte sind oft auch Kommunikationsgenies. Zwischen einem Anführer und seinen Gefolgsleuten entsteht eine besondere Verbindung: Wissenschaftlern des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig zufolge synchronisiert sich der sogenannte temporoparietale Übergang zwischen Schläfen- und Scheitellappen in der Großhirnrinde des Anführers mit der entsprechenden Gehirnregion seiner Gefolgschaft. Das heißt, die Rhythmen der Hirnaktivität des Chefs und der Gruppe gleichen sich an.

Der temporoparietale Übergang ist wichtig für Empathie und das Einfühlungsvermögen in den Gemütszustand anderer. Anhand der Hirnaktivitäten sagten die Max-Planck-Forscher sogar voraus, wen eine Gruppe zum Anführer wählen wird und zu welchem Zeitpunkt. Die Synchronisation der Hirnaktivität beruht den Ergebnissen zufolge eher auf den kommunikativen Fähigkeiten der Anführer und weniger darauf, wie viel sie reden. Fazit: In einer Gruppe gleichberechtigter Individuen wird also meist der zum Anführer bestimmt, der zur richtigen Zeit das Richtige sagt.
(PNAS, 23. März 2015)



Blühende Vielfalt

Die Wälder der indopazifischen Region sind genauso reich an Baumarten wie die Tropen Amerikas

In den Tropenwäldern der Welt gibt es möglicherweise mehr Baumarten als bislang angenommen, nämlich zwischen 40 000 und 53 000. Das hat ein internationales Team, an dem auch Florian Wittmann, Forscher am Max-Planck-Institut für Chemie, beteiligt war, durch Zählungen an 207 Standorten in 43 Ländern und durch anschließende Hochrechnungen ermittelt. Verschiedene Schätzungen zur Zahl der tropischen Baumarten kamen vorher zu Ergebnissen zwischen 37 000 und 50 000 Arten. Das neue Ergebnis bewegt sich also am oberen Ende dieser Annahmen. Überrascht hat die Forscher in der aktuellen Studie vor allem, dass sie in den indopazifischen Tropenwäldern mit 19 000 bis 25 000 genauso viele Baumarten fanden wie in den Wäldern Mittel- und Südamerikas. Dort vermuteten sie bislang deutlich weniger Spezies. Im Vergleich dazu gibt es in Mitteleuropa gerade einmal 124 Baumarten. Florian Wittmann geht davon aus, dass die aktuelle Erhebung als Grundlage für Schutzmaßnahmen dienen kann.

(Proceedings of the National Academy of Sciences, 1. Juni 2015)

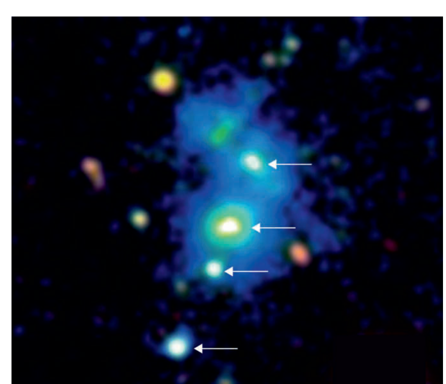
Die Flussufer im brasilianischen Regenwald sind geprägt von vielen verschiedenen Baumarten. Genauso artenreich wie die Tropen Amerikas sind die Wälder der indopazifischen Region.

Quasar-Quartett gibt Rätsel auf

Astronomen müssen Modelle über die Entwicklung großräumiger kosmischer Strukturen überdenken

Ein Quasar gleicht einem kosmischen Kraftwerk, das durch den Einfall von Materie auf ein massereiches schwarzes Loch angetrieben wird. Nur etwa zehn Millionen Jahre währt das aktive Stadium; in dieser Phase gehört ein solcher Galaxienkern zu den hellsten Objekten im Universum. Jetzt haben Astronomen um Joseph Hennawi vom Max-Planck-Institut für Astronomie mit dem 10-Meter-Keck-Teleskop gleich vier Quasare in direkter Nachbarschaft zueinander entdeckt. Das Quartett befindet sich in einer der massereichsten Strukturen, die jemals im fernen All nachgewiesen wurden, und ist von einer gigantischen Wolke aus kaltem Gas umgeben – dem Jackpot-Nebel. Dessen Eigenschaften passen so gar nicht zu den Vorstellungen über das frühe Universum. So etwa sagen die Modelle vorher, dass massereiche Strukturen damals mit extrem dünnem Gas gefüllt waren und Temperaturen von rund zehn Millionen Grad aufwiesen. Das Gas im Jackpot-Nebel ist im Vergleich dazu 1000-fach dichter und 1000-fach kühler.

(Science, 15. Mai 2015)



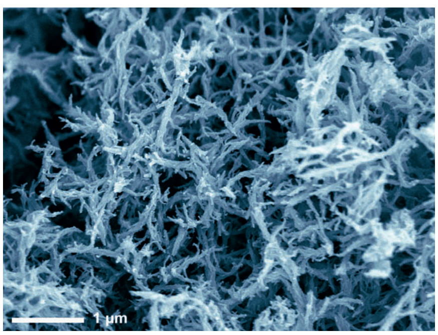
Seltener Fund: Das Bild zeigt die Raumregion mit dem Quasar-Quartett. Die Positionen der vier Quasare sind durch Pfeile angezeigt. Der Nebel, in den die Quasare eingebettet sind, ist als bläuliches, durchscheinendes Gebilde zu sehen. Er hat eine Ausdehnung von rund einer Million Lichtjahren. Quasare und Nebel sind so weit von uns entfernt, dass ihr Licht etwa zehn Milliarden Jahre zur Erde unterwegs ist.

Fotos: Michael Welling / MPI für Chemie (oben), Arrigoni-Battaia & Hennawi / MPI für Astronomie (unten)

Kohle nach Maß

Nanopartikel aus Kohlenstoff könnten als Gasspeicher dienen oder zur Erzeugung von Wasserstoff – Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Golm bei Potsdam können ihnen dafür jetzt die passende Form und chemische Zusammensetzung geben. Die Forscher erzeugen gezielt Nanoteilchen mit einer kugel-, schicht- oder faserförmigen Struktur, indem sie verschiedene organische, das heißt kohlenstoffhaltige Flüssigkeiten in eine heiße Salzschmelze, zum Beispiel aus Zinkchlorid, spritzen. Bei Bedarf können sie durch entsprechende Zusätze auch Metall- oder andere Fremdatome in die Partikel einbauen. Für technische Anwendungen ist das vielseitige Rezept für die Synthese der Nanoteilchen hilfreich, weil deren Eigenschaften maßgeblich von ihrer Struktur und Zusammensetzung abhängen. Bisher werden Kohlenstoff-Nanopartikel durch die Verkohlung fester Stoffe erzeugt. Dabei entstehen aber nur sphärische Teilchen. Flüssigkeiten zu verkohlen galt bislang als unmöglich. Erste Tests zeigten, dass nickelhaltige Nanostrukturen, die auf diese Weise entstanden sind, die elektrolytische Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser katalysieren. Sie sind jedoch kostengünstiger als die edelmetallhaltigen Katalysatoren, die dafür bislang eingesetzt werden. In manchen Nanostrukturen konnten die Forscher, bezogen auf die Masse der Nanoteilchen, auch große Gasmengen speichern.

(Angewandte Chemie International Edition, online 4. März 2015)

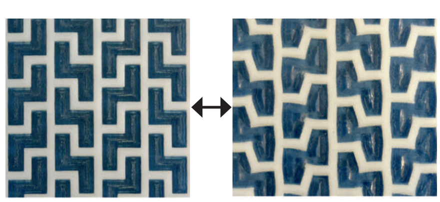


Faserartige und andere Nanostrukturen lassen sich gezielt herstellen, indem verschiedene organische Lösungsmittel in einer heißen Salzschmelze karbonisiert werden.

Die Mittagsblume als Vorbild

Wenn Ingenieure künftig bewegliche Komponenten von Robotern entwickeln, können sie sich vielleicht der Kniffe von Pflanzen bedienen. Forscher des Max-Planck-Instituts für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Potsdam und der Harvard University in Cambridge (USA) stellen jetzt ein Polymermaterial mit einer zellulären Struktur vor, das als Aktuator, also als sich aktiv bewegendes Bauteil, dienen könnte. Die Zellen sind so konstruiert, dass sich die Struktur nur in einer Richtung ausdehnt, wenn sie durch eine Flüssigkeit oder Druckluft aufgebläht werden. Die Forscher ahmen auf diese Weise den rein physikalischen Mechanismus nach, durch den sich die Deckel der Samenkapseln der Mittagsblume öffnen und schließen. Diesen Bewegungsmechanismus hatten die Forscher des Max-Planck-Instituts für Kolloid- und Grenzflächenforschung im Jahr 2011 aufgeklärt. Bewegliche Komponenten, die ähnlich konzipiert sind wie die jetzt vorgestellten Aktuatoren, könnten Robotern besonders natürliche Bewegungseigenschaften verleihen.

(Advanced Materials Interfaces, 26. Juni 2015)



Der Aktuator, den Max-Planck-Forscher entwickelt haben, besteht aus Polymerzellen mit nicht quellbaren Wänden und quellbarem Inneren. Wenn die Kammern eine Flüssigkeit aufnehmen, dehnt sich die Struktur in einer Richtung aus.

Fotos: MPI für Kolloid- und Grenzflächenforschung (oben), Advanced Materials Interfaces / MPIKG (unten)

Genmuster verrät den Übeltäter

Nach einer Infektion mit *Helicobacter pylori* ähnelt die Genaktivität in Magenzellen der Aktivität von Krebszellen

Rund die Hälfte der Weltbevölkerung ist chronisch mit dem Magenbakterium *Helicobacter pylori* infiziert. Davon erkrankt rund ein Prozent an einem Magen-Adenokarzinom – einer der tödlichsten Formen von Krebs. Zur Entstehung von Magenkrebs kann *Helicobacter pylori* beitragen. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Infektionsbiologie in Berlin haben jetzt die genetischen Veränderungen analysiert, die zu einem frühen Zeitpunkt nach einer *Helicobacter*-Infektion im Erbgut der Magenzellen auftreten.

Während krebserregende Strahlung oder Chemikalien zufällig verteilte DNA-Schäden auslösen, schädigt der Erreger den Berliner Wissenschaftlern zufolge das Erbgut nach einem bestimmten Muster. *Helicobacter* schaltet im Laufe der Infektion mehrere Gene für die Reparatur von DNA-Abschnitten aus. Die Forscher stellten zudem fest, dass besonders aktive Gene und solche in randnahen Regionen von Chromosomen nach einer Infektion häufiger beschädigt waren als andere Gene. Dieses Mutationsmuster ähnelt jenem von Magenkrebs – was unterstreicht, dass *Helicobacter* bei der Entwicklung dieser Krebsform eine Rolle spielt.

Als einzige andere Krebsart besitzt Prostatakrebs einen ähnlichen genetischen Fingerabdruck. Auch an der Entwicklung dieser Krebsart ist ein Bakterium beteiligt, *Propionibacterium acnes*. Möglicherweise können genetische Fingerabdrücke von Infektionen sogar Hinweise auf bakterielle Erreger als Ursache für weitere Krebserkrankungen liefern.

(Cell Reports, 11. Juni 2015)





Der **Spindoktor**

Dieser Physiker hat unsere Welt verändert: Erst **Stuart Parkins** Entwicklungen in der Spintronik ermöglichen Facebook, Google und viele andere Computeranwendungen, ohne die unser Alltag kaum noch denkbar ist. Seit einem Jahr ist Parkin Direktor am **Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik** in Halle. Mit seiner Energie beeindruckt und fordert er seine Kollegen dort gleichermaßen.

TEXT **PETER HERGERSBERG**

Der Beruf des Physikers gilt gemeinhin nicht als körperliche Arbeit. Stuart Parkin braucht trotzdem keinen Ausgleichssport – er ist fast ständig in Bewegung. Auch als die finnische Akademie für Technologie ihm im Mai 2014 den Millennium-Technologiepreis verleiht, den mit einer Million Euro höchstdotierten Technikpreis der Welt, und Parkin aus diesem Anlass einen Vortrag hält. Dabei beeindruckt er nicht nur mit seinen Innovationen für die Speichertechnik, sondern auch mit der Strecke, die er auf der Bühne zurücklegt. Unaufhörlich ein paar Schritte vor, ein paar Schritte zurück, dann ein kleiner Abstecher zu dem Tisch mit dem Wasserglas, und weiter geht's.

Auch die Hände sind immer aktiv. Mal zeichnet eine Hand die Schichtmaterialien in die Luft, die er entwickelt hat, mal weist die andere mit ausladender Geste auf ein Bild in seinen Folien oder eine besonders wichtige Aussage hin, mal scheinen beide Hände ein nicht vorhandenes Seil nach unten zu ziehen. Er ist so agil, da verwundert die hagere Gestalt nicht, mit der er auch als Langstreckenläufer durchginge.

Als Parkin in Helsinki spricht, ist er seit einem guten Monat Direktor am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik und Professor an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Er blickt heute schon auf zahlreiche wissenschaftliche und technische Erfolge zurück. Seinen Entdeckungen verdanken wir es, dass wir heute immer mehr Information auf immer kleinerem Raum speichern können. „Das erlaubt es uns, Facebook und Google zu nutzen", sagt der Physiker. „Und auch Big Data ist nur möglich, weil wir große Datenmengen mittlerweile in vergleichsweise billigen Geräten speichern können."

Bevor Parkin genauer erklärt, was er zu den leistungsfähigen Computern von heute beigetragen hat, skizziert er kurz seinen Werdegang und zeigt dazu Fotos seiner wichtigsten Stationen: „Als Kind wollte ich immer nach Cambridge, wegen Isaac Newton – Sie haben wahrscheinlich schon mal von ihm gehört", erzählt der Brite, der in Watford unweit von London geboren



Dynamisch – das ist eine Eigenschaft, mit der Max-Planck-Direktorin Claudia Felser ihren Mann Stuart Parkin charakterisiert. Auch beim Fototermin steht er kaum still.

Fotos: Sven Döring (3)



Lebhaft: Die Baukommission diskutiert, wie die Umgestaltung der Labors und Arbeitsräume in Stuart Parkins Abteilung voranschreitet.

wurde. „Newton war sowohl Student als auch Fellow am Trinity College – so wie ich auch."

Anschließend arbeitete Parkin an der Universität Paris-Süd an organischen Supraleitern. Das sind Materialien auf Kohlenstoffbasis, die Strom ohne Widerstand leiten. An ihnen forschte er zunächst auch weiter, nachdem er 1982 an das Almaden-Forschungszentrum gewechselt war, das IBM im kalifornischen San José betreibt. Seither wurde er nicht nur auf diverse Honorar- und Gastprofessuren berufen, sondern auch zum beratenden Professor der Universität Stanford und IBM Fellow.

Und jetzt Halle an der Saale. Ehe er ein Foto des Max-Planck-Instituts für Mikrostrukturphysik präsentiert, zeigt er eines von sich mit seiner damaligen Verlobten und heutigen Frau, die beinah hinter einem üppigen Blumenstrauß mit diversen orangefarbenen Blüten verschwindet: Claudia Felser, Direktorin am Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe. „Wir interessieren uns beide sehr für Materialien", sagt Parkin. „Sie ist der Grund, warum ich nach Deutschland gehe."

Selbstverständlich ist das nicht, denn Claudia Felser charakterisiert ihn mit folgenden Worten: „Stuart ist energetisch, dynamisch, und an erster Stelle kommt die Wissenschaft." Ein Problem hat sie damit nicht, im Gegenteil: Das mache vieles einfacher, denn bei ihr sei es ähnlich. So war die Liaison zunächst auch eine berufliche, ehe sie eine private wurde. Denn Claudia Felser erforscht magnetische Materialien, die für Stuart Parkins Entwicklungen in der Elektronik, genauer gesagt: der Spintronik Anwendung finden könnten.

DAS SPINVENTIL ALS FEINFÜHLIGER MAGNETSENSOR

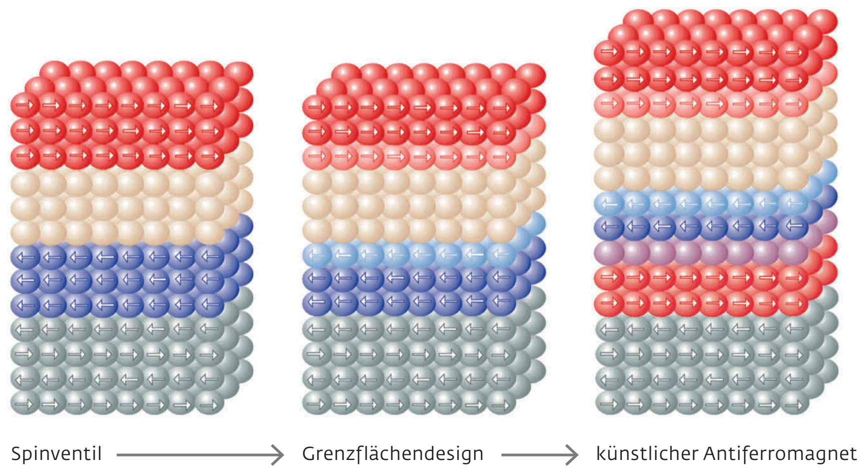
Die Spintronik nutzt nicht nur die Ladung der Elektronen aus, sondern auch deren Spin. Der Spin ist eine quantenmechanische Eigenschaft von Elektronen, die jedes dieser Elementarteilchen zu einem winzigen Stabmagneten macht. Er kann nur zwei Richtungen einnehmen. Tatsächlich bewirken die Spins unzähliger Elektronen in einem Stabmagneten, wie wir ihn aus dem Physikunterricht kennen, dass seine Enden nur Nord- oder Südpol sein können. Die Orientierung der Spins bestimmt aber auch, welches Datenbit in einem magnetischen Inselchen abgelegt wird, das als Speicherpunkt auf einer Festplatte dient.

Parkin gilt als einer der Vorreiter der Spintronik, nicht zuletzt wegen seiner bis dato vielleicht relevantesten Entwicklung: des Spinventils, mit dem heute in jeder Festplatte Daten gelesen werden.

Um ein Datenbit auf einer Festplatte auch dann noch entziffern zu können, wenn die Magnetinseln einzelner Speicherpunkte und mithin ihre Felder extrem winzig sind, braucht es einen besonders feinfühligen Sensor. Genau den bietet das Spinventil. Den Riesen-Magnetowiderstand, den dieser Magnetsensor nutzt, entdeckten Peter Grünberg und Albert Fert – sie erhielten dafür 2007 den Physik-Nobelpreis.

Grünberg und Fert stellten fest, dass der elektrische Widerstand von Sandwiches, in denen magnetische und nichtmagnetische Materialien abwechselnd übereinandergeschichtet sind, dramatisch sinkt, wenn man das Sandwich einem starken Magnetfeld aussetzt. „Anfangs war nicht klar, ob

Foto: Sven Döring



Gestapelt: Ein Spinventil besteht aus zwei magnetischen Kobaltschichten (rot und blau) und einer nichtmagnetischen Kupferschicht (beige). Ein antiferromagnetisches Trägermaterial (grau) dient dazu, die Polung der einen Kobaltschicht zu fixieren. (Die Pfeile symbolisieren die Spinrichtungen an den Atomen.) Doch erst durch ein sorgfältiges Design der Grenzflächen (hellrot und hellblau) und einen künstlichen Antiferromagneten wird das Spinventil zu einem brauchbaren Lesekopf für Festplatten. Der künstliche Antiferromagnet entsteht, indem in die untere Kobaltschicht ein oder zwei Atomlagen Ruthenium (rosa) eingezogen werden. Der künstliche Antiferromagnet verhindert die antiferromagnetische Kopplung mit der oberen Kobaltschicht.

Grafik: Parkin et al., Phys. Rev. Lett. (1990), Phys. Rev. B (1991) Parkin, US Patent (1993)

sich der Effekt technisch nutzen lassen würde“, so Parkin.

Grünberg und Fert beobachteten den Riesen-Magnetowiderstand zuerst nur in einem Schichtmaterial aus Eisen und Chrom, das sie mit einer ziemlich exotischen und aufwendigen Technik herstellten. Am stärksten änderte sich der Widerstand zudem bei tiefen Temperaturen und sehr hohen Magnetfeldern. Praxistauglich war das Phänomen damit noch nicht. „Die Vorschläge, die Peter Grünberg und Albert Fert für einen Lesekopf machten, funktionierten nicht“, sagt Parkin. Er trat an, das zu ändern.

In seinem Labor am IBM-Almaden-Forschungszentrum in San José fand er heraus, dass der Effekt auch in anderen Metallkompositionen auftritt, zum Beispiel in Sandwiches aus Kobalt und Kupfer. Und das auch, wenn die Metalle mit einer praktikableren Technik, der Sputter-Deposition, erzeugt werden. Eine Entdeckung aus der Not heraus: „IBM hat zwar eine teure Anlage für die Molekularstrahlepitaxie, wie sie Grünberg und Fert verwendeten, gebaut, als ich dort war“, sagt der Physiker. „Aber mit der Anlage kam ein Kollege, und dann war das sein Gerät, für mich blieb nur noch Geld für ein kleines Sputter-System übrig.“

Bei der Sputter-Deposition entstehen zwar keine so schön kristallinen Strukturen, das tut dem Effekt aber keinen Abbruch. Und vor allem eignet sich diese Methode für die Massenproduktion von Schichtmaterialien, weil sie sehr viel schneller ist und sich einfach verschiedene Materialien übereinanderstapeln lassen.

Das war aber nur eine Entdeckung, die dem Riesen-Magnetowiderstand in die Festplatte von heute verhalf. Da sich die Material-Sandwiches nun so unkompliziert erzeugen ließen, testete Parkin alle möglichen Materialkombinationen. Und siehe da, mit einer Kombination aus Kobalt und Kupfer statt Eisen und Chrom tritt der Effekt auch bei Raumtemperatur auf – eine zwingende Voraussetzung für den Einsatz im PC.

95 PROZENT DES WELTWISSENS WERDEN DIGITAL ABGELEGT

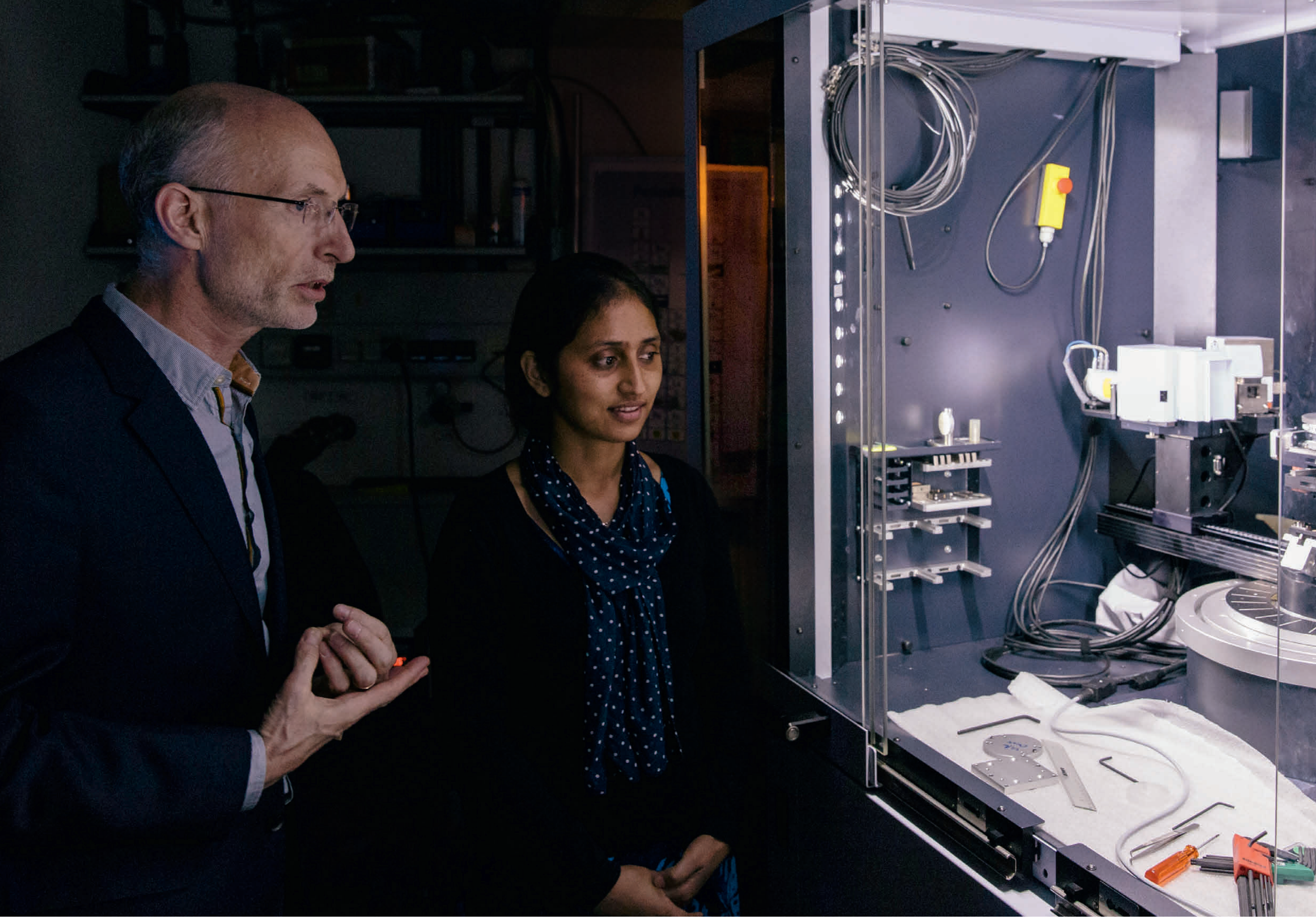
Zudem verkleinerte Parkin die Stapel, in denen sich viele magnetische mit nichtmagnetischen Schichten abwechseln, auf ein Sandwich von nur zwei magnetischen Kobaltlagen und einer nichtmagnetischen Kupferschicht. Damit hatte er das Spinventil gefunden. Dessen Widerstand ändert sich in einem Magnetfeld zwar nicht so stark wie in vielschichtigen Stapeln, dafür allerdings schon in Magnetfeldern, die 10 000-mal schwächer ausfallen als jene, die Grünberg und Fert anlegen mussten.

Als Lesekopf einer Festplatte eignet sich das Spinventil in dieser Form aber immer noch nicht. Denn in einem Spinventil, das klein genug ist, um die winzigen Speicherpunkte auf einer Festplatte abzutasten, spüren sich die magnetischen Lagen so stark, dass sie wieder nur auf sehr große äußere Magnetfelder reagieren. Die Magnetinseln auf einer Festplatte können da nichts ausrichten. Parkin entdeckte aber weitere Besonderheiten im Zusammenspiel magnetischer und nichtmagnetischer Schichten, die nur wenige Atomlagen dünn sind. Mithilfe der Effekte lässt sich auch ein atomar dünnes Spinventil für winzige Magnetfelder sensibilisieren. Keineswegs unerheblich ist dabei, dass der Riesen-Magnetowiderstand an den Grenzflächen zwischen den magnetischen und nichtmagnetischen Schichten des Materials bewirkt wird und nicht im Inneren der Lagen.

„Ich habe also die Entdeckungen gemacht, die den Riesen-Magnetowiderstand nützlich machen“, sagt Parkin selbstbewusst. „Unser Spinventil reagiert auf so schwache Magnetfelder, dass die magnetischen Regionen auf einer Festplatte 1000-mal kleiner werden konnten.“ Nicht zuletzt weil dadurch die Speicherdichte deutlich stieg, werden 95 Prozent des Weltwissens heute digital abgelegt, vor 20 Jahren waren es nicht einmal fünf Prozent.

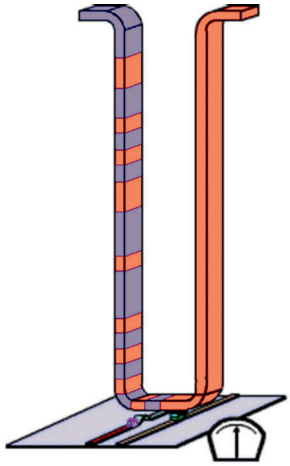
Das reicht Stuart Parkin aber noch nicht. In den vergangenen Jahren hat er bei IBM schon an den nächsten Innovationen gearbeitet, nicht nur um die Speicherdichte zu erhöhen, sondern auch um die Information schneller zugänglich zu machen, als das bei heutigen Festplatten der Fall ist.

Das soll mit dem Racetrack Memory gelingen. Hier rast kein Lesekopf mehr



Oben: Stuart Parkin und Kumari Gaurav Rana diskutieren Untersuchungen mit einem Röntgendiffraktometer. Damit lässt sich die detaillierte Struktur von Materialschichten analysieren, wie Stuart Parkin sie auch in Halle erforschen wird.

Unten: Im Racetrack Memory schieben kurze Stromstöße magnetische Regionen (rote und blaue Zonen) durch einen Nanodraht zu einem fest stehenden Lesekopf. Da dieses Speicherprinzip keine bewegliche Mechanik braucht, können Daten auf diese Weise schneller ausgelesen werden.



über die magnetischen Speicherpunkte. Stattdessen wandern die magnetischen Regionen mit Geschwindigkeiten von mehreren 100 Metern pro Sekunde durch Nanodrähte zu einem fixen Lesekopf. Da es keine bewegliche Mechanik mehr gibt, würde das Racetrack Memory heutige Festplatten in puncto Geschwindigkeit um Längen schlagen. Allerdings entstehen bei der Herstellung der filigranen magnetischen Strukturen heute immer noch zu viele fehlerhafte Bauteile. „Aber alle großen Computerfirmen arbeiten an solchen Speichern", sagt Stuart Parkin. In einigen Jahren könnten sie reif sein für den Markt.

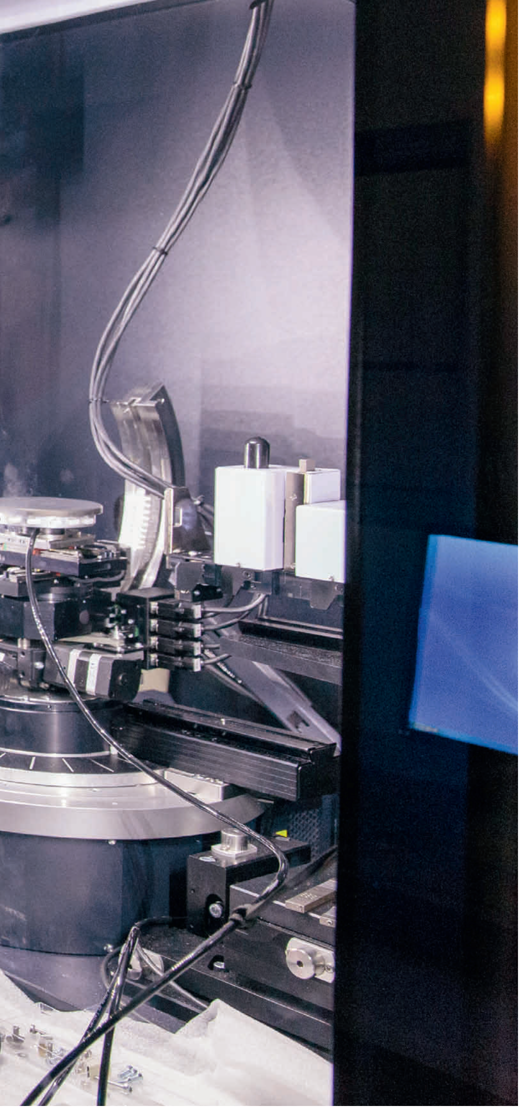
Einen Teil seiner neueren Ideen, die er schon bei IBM entwickelt hat, wird Parkin in Halle weiterverfolgen, aber neue sollen dazukommen. Mit ihm komme der Spirit des Silicon Valley nach Sachsen-Anhalt, sagt Claudia Felser. Doch ein knappes Jahr später pendelt der Erfindergeist immer noch etwa alle zwei Wochen zwischen San José und Halle hin und her. Und das sieht man ihm an diesem Morgen auch an, nachdem er tags zuvor wieder angekommen ist. „Schön, Sie zu sehen", sagt er zur Begrüßung und fügt mit einer Mischung aus Ungeduld und Offenheit hinzu: „Was machen wir jetzt?"

„EIN BILD, DAS MIR GEFÄLLT, KAUFE ICH"

Zeit für ein Gespräch hat er erst einmal nicht. Er eilt in sein Büro, am Vormittag stehen verschiedene Besprechungen an, die teils spontan anberaumt wurden und den ursprünglichen Zeitplan durcheinanderbringen.

Parkins Büro wird von einem Konferenztisch beherrscht, an dem zehn Personen Platz finden. Im Hintergrund des Raumes steht sein Schreibtisch, neben dem, so groß wie ein Poster, das gemalte Antlitz eines Buddhas hängt. Er mag Kunst, hat aber keine Vorlieben für einen bestimmten Künstler oder eine bestimmte Epoche. „Wenn ich ein Bild sehe, das mir gefällt, kaufe ich es", sagt er. Manchmal nutzt er seine Konferenz-

Foto: Sven Döring; Grafik: Stuart Parkin



aufenthalte in aller Welt daher auch, um Galerien zu besuchen.

Auch wenn ein Bild schon seinen Arbeitsplatz in Halle verschönert, seine Forschung kann er hier noch nicht betreiben. Erst sind diverse Um- und Neubauten sowie einige Sanierungsarbeiten nötig, um die Labors in Parkins Abteilung seinen Vorstellungen entsprechend auszustatten. Um den Stand der Planungen zu besprechen, tagt die Baukommission. Schnell wird klar, man hängt ziemlich hinterher. Parkin bedauert das und sagt: „Ich will jetzt anfangen!" Doch viele Maßnahmen sind nicht so möglich, wie ursprünglich gedacht. Außerdem hat sich neuer Bedarf ergeben. Mit vereinten Englischkenntnissen versuchen die Baufachleute Parkin die Probleme zu vermitteln.

Parkin sitzt sehr aufrecht, die Ellenbogen auf den Tisch gestützt, die Füße unter dem Stuhl verschränkt. Der eine Fuß zittert mit einer Frequenz, die an die Taktfrequenz eines Computers heranreicht. Lange dreht sich die Diskussion um eine neue Wasserversorgung. Denn wer mit magnetischen Materialien experimentiert, kann nicht mit Wasser kühlen, das mit Eisen verunreinigt ist.

Stuart Parkin lernt deutsche Brandschutzbestimmungen und das hiesige Baurecht kennen. Als es um eine Baugenehmigung der Stadt Halle geht, wirft er mit scherzhaftem Ton ein: Das sei kein Problem, gestern habe er den Bürgermeister kennenglernt, mit dem werde er das regeln. Aber natürlich weiß er, dass es so einfach nicht ist. Für jemanden, der eigentlich nur seine Forschungsideen verfolgen will, muss das enervierend sein. „Doch wenn die Regeln so sind, muss man sich damit abfinden", sagt er nach der Sitzung. So hoch seine Anforderungen an die Ausstattung seiner Labors sind und so gern er seine Abteilung schon eingerichtet hätte – er ist auch pragmatisch.

Und wenn die Startschwierigkeiten überwunden sind, dürfte es sich an einem Max-Planck-Institut sogar mit mehr Freiheit forschen lassen als im Firmenlabor. „Bei IBM wird man von einem Tag zum anderen gefördert, und um zusätzliche Doktoranden oder Postdocs einstellen zu können, braucht man Mittel aus anderen Töpfen, an die man immer schwerer herankommt", sagt er. „Am Max-Planck-Institut kann ich mehr Wissenschaftler beschäftigen und mehr Projekte verfolgen." Zudem gebe die Max-Planck-Gesellschaft Mittel und Freiheit für langfristige Projekte.

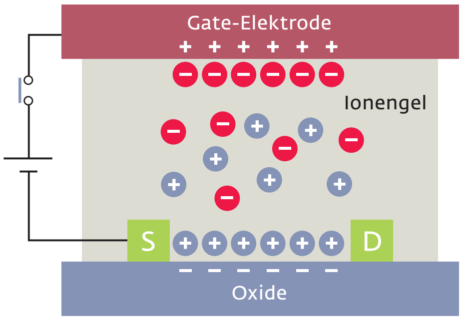
Nachdem die Baukommission sich wieder auf den Heimweg gemacht hat und viele offene Fragen mitnimmt, geht es zu einem Fototermin. Als Parkin aus seinem Büro in das Foyer des Instituts tritt, weist er auf das schlichte graue Interieur mit stählernen Hängelampen von derselben Farbe: „Ist das nicht hässlich?" Als die Antwort sich etwas verzögert, gibt er sie selbst und kündigt lachend an, auch hier ein paar Dinge zu verändern. Als kunstsinniger Mensch hat er nicht nur hohe praktische, sondern auch eigene ästhetische Ansprüche an sein Arbeitsumfeld.

Nach einigen weiteren Besprechungen steht am späten Nachmittag das Gespräch für diesen Artikel auf dem Programm. Parkin soll über die Motivation für seine rastlosen Forschungsaktivitäten sprechen, noch ein paar Details seiner bisherigen Arbeit erklären und skizzieren, was er an seiner neuen Forschungsstätte vorhat. Und weil der Fotograf noch nicht genügend Bilder im Kasten hat, findet das Interview während eines Spaziergangs zur Saale statt, die unweit des Instituts fließt.

„DER GEWISSE VERFALL MACHT DEN CHARME HALLES AUS"

„Wow, ist das schön hier", ruft Parkin immer wieder auf dem Weg über die Peißnitzinsel. Und mit noch mehr Begeisterung reagiert er, als ihm bewusst wird, dass er durch diesen Park kommt, wenn er den Weg von seinem künftigen Zuhause zum Institut zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurücklegt. Das Haus, das er und Claudia Felser bauen, wird, nur drei Kilometer entfernt, am Ufer der Saale stehen. „Wir haben uns geeinigt, dass Claudia von Dresden nach Halle zieht, wenn ich den ganzen Weg von Kalifornien aus hierherkomme", sagt er auf die Frage, ob Dresden nicht auch ein attraktiver Wohnort für das Wissenschaftlerpaar gewesen wäre. Doch wie spätestens dieser Spaziergang zeigt, hat auch Halle äußerst reizvolle Seiten.

Während des Spaziergangs an die Saale zeigt sich Parkin besonders angetan von dem Café im Peißnitzhaus, das an diesem milden Apriltag auch mit einem Biergarten lockt. Das Schlösschen, das Ende des 19. Jahrhunderts erbaut wurde, hat wie manche andere ältere Gebäude in Halle Patina angesetzt. Gerade das gefällt Parkin: „Der Verfall,



Informationsverarbeitung wie im menschlichen Gehirn: In einem Transistor, der wie Nervenzellen mit Ionen geschaltet wird, bewirkt eine kleine Spannung an der Gate-Elektrode, dass sich auf ihr und einer gegenüberliegenden Oxidschicht Ionen aus einem Ionengel abscheiden. Aus dem Oxid lösen sich dann Oxidionen, sodass diese Schicht leitfähig wird und zwischen Source-(S)- und Drain-(D)-Elektrode ein Strom fließen kann.

den es hier zu einem gewissen Grad gibt, macht den Charme von Halle aus, finde ich."

Doch so reizvoll Halle auch ist, das ist natürlich nicht der Grund, warum er hierherkommt. Hier findet er die Voraussetzungen, um seine vielen Ideen zu verfolgen, nicht nur in der Spintronik. So will er Computer entwickeln, die ähnlich rechnen, wie wir denken. Und das heißt vor allem: so energieeffizient. „Das Gehirn einer Ratte arbeitet etwa so schnell und mit derselben Speicherkapazität wie der Supercomputer Blue Gene/L, braucht aber nur ein Zehnmillionstel der Energie."

Diese Effizienz lasse sich weder mit der herkömmlichen Elektronik erreichen noch mit der Spintronik. Erstere arbeite immer mit Verlusten, die ihren Energiebedarf in die Höhe treiben. Und Letztere sei sogar noch ineffizienter, da die Spinströme, die hier gebraucht werden, erst einmal aus Ladungsströmen erzeugt werden müssten. Zudem gebe es bislang kein funktionierendes Konzept, um Information in Form elektronischer Spins nicht nur zu speichern, sondern auch zu verarbeiten.

Also will Parkin es ähnlich machen wie menschliche Nervenzellen, die Information über die Aufnahme und Abgabe von Ionen austauschen. Und er hat dafür auch schon ein Konzept, das er mit ersten Arbeiten bei IBM entwickelt hat. Er hat einen Weg gefunden, einen elektrischen Isolator aus einer ionischen Flüssigkeit mit Ionen aufzuladen und ihn auf diese Weise zu schalten, also vom elektrisch isolierenden in den leitfähigen Zustand zu bringen. „Wir haben festgestellt, dass wir dafür nur winzige Mengen an Ionen brauchen", erklärt er. Ein solcher Transistor würde also viel effizienter arbeiten als ein heutiger. Heute schalten die kleinsten Rechenelemente eines Prozessors, indem Elektronen in einen Halbleiter gepumpt oder aus ihm absaugt werden. Das kostet mehr Energie, als eine relativ kleine Menge von Ionen auf eine Oberfläche zu dirigieren.

IM URLAUB WIRD NUR TAGSÜBER GEARBEITET

„Mit dieser flüssigen Elektronik stehen wir noch ganz am Anfang", sagt der Wissenschaftler. Gerade für solche Projekte, die noch einen weiten Weg in die Anwendung vor sich haben, fehle IBM die Geduld. Um mit einem so fundamental neuen Ansatz zu neuer Computertechnik zu kommen, müssen Parkin und seine Mitarbeiter natürlich immer wieder nach grundlegend neuen physikalischen Effekten suchen. Für die interessiert sich Parkin jedoch nicht um ihrer selbst willen. „Die Grundlagen sind interessant, aber für mich ist es wichtig, dass sie auf lange Sicht eine mögliche Anwendung haben."

So will er in Halle den Weg bereiten, damit Computer künftig einmal so energiesparend rechnen wie das Gehirn eines Menschen oder einer Ratte. Dass der heute 60-Jährige bald das Rentenalter eines gewöhnlichen Arbeitnehmers erreicht hat, dürfte kein Hinderungsgrund sein. Sein Vertrag in Halle läuft jetzt schon bis zu seinem 70. Lebensjahr, und es gibt die Option, ihn bis 75 zu verlängern. Ruhestand kann man sich bei ihm jedenfalls kaum vorstellen, schon mit Urlaub hat er Schwierigkeiten. Für die Flitterwoche, die er und seine Frau in Schottland verbringen werden, haben die beiden daher einen Kompromiss geschlossen: Tagsüber arbeiten sie, abends machen sie frei.

Die Teilzeitferien – Claudia Felser spricht von einem Nano-Honeymoon – scheinen die probate Lösung nach ersten Erfahrungen mit einem Kurzurlaub. Wie die Forscherin erzählt, hätten sie auf den Fidschi-Inseln zwei Tage Station gemacht, als sie auf dem Weg von einer Konferenz in den USA zu einer Konferenz in Australien waren. „Als wir nach dem zweiten Tag nicht abreisen konnten, wurde er so hibbelig, dass er den dritten Tag kaum ausgehalten hat." ◂

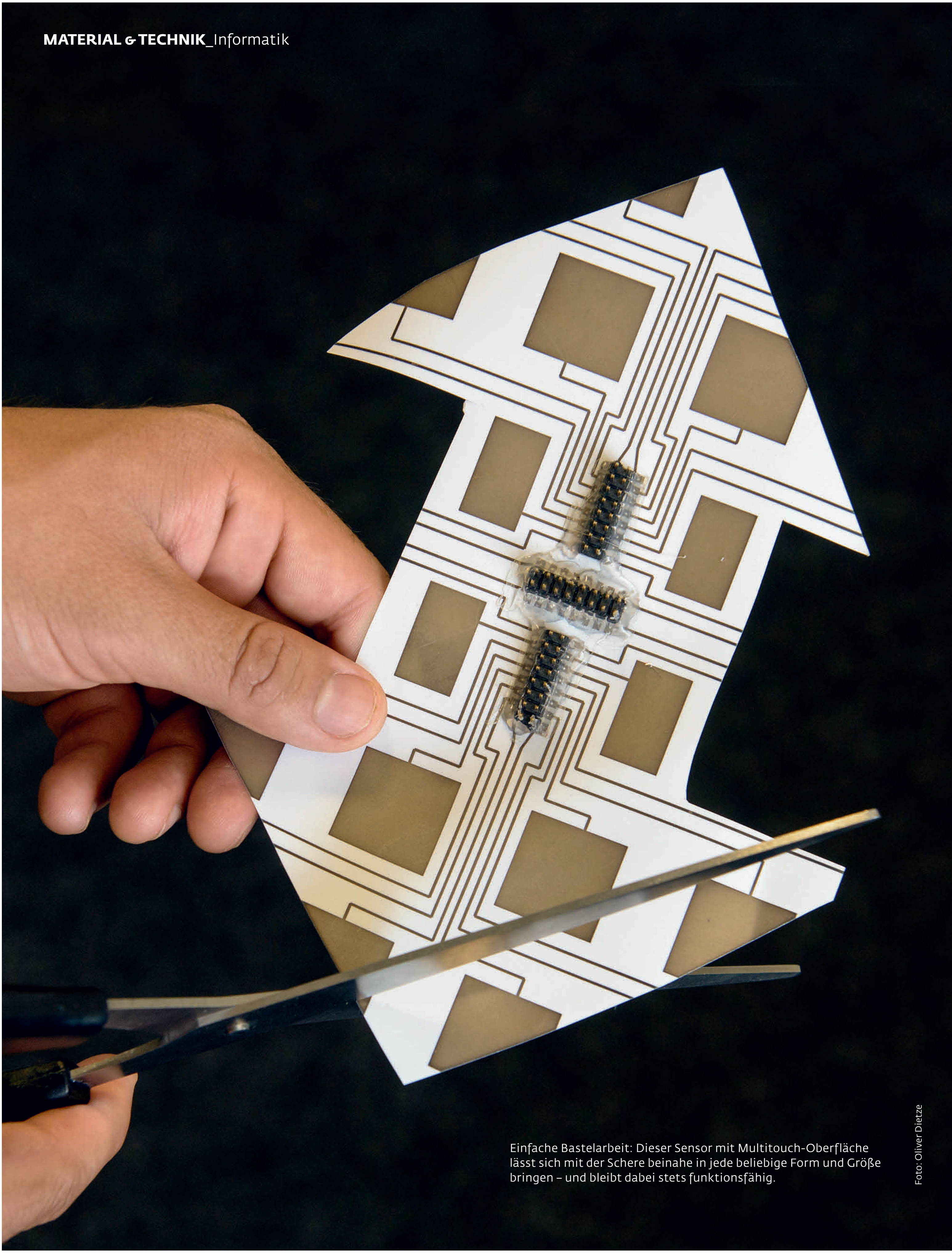
GLOSSAR

Big Data: Dank digitaler Techniken lassen sich heute viel größere Datenmengen erfassen und verarbeiten als noch vor 20 Jahren. Das ermöglicht neue Ansätze in der Wissenschaft, wird aber auch von Wirtschaft und Geheimdiensten ausgenutzt.

Molekularstrahlepitaxie: Mit dieser Methode lassen sich ebenfalls sehr dünne Schichten herstellen, allerdings in Form eines einzigen Kristalls. Dabei wird eine Substanz verdampft und gelangt in Form eines gerichteten Strahls auf ein Trägermaterial. Dieses Verfahren ist langsam und erfordert ein sehr hohes Vakuum.

Sputter-Deposition: Eine Methode, um dünne Materialschichten zu erzeugen. Dabei werden mit einem Strahl geladener Edelgasatome Atome aus einem Material herausgeschlagen. Diese Atome scheiden sich anschließend in einzelnen Lagen auf einem Trägermaterial ab. Die Methode erzeugt dünne Schichten schneller als die Molekularstrahlepitaxie und erfordert kein so hohes Vakuum wie diese, sie ist daher vielseitiger und geeignet für die Massenproduktion.

Grafik: Stuart Parkin



Einfache Bastelarbeit: Dieser Sensor mit Multitouch-Oberfläche lässt sich mit der Schere beinahe in jede beliebige Form und Größe bringen – und bleibt dabei stets funktionsfähig.

Foto: Oliver Dietze

Display aus dem Drucker

Seine Forschung wirkt bunt und hip. Die Prototypen sind aus Holz, Papier und Kunststoff. Geschnitten, gedruckt oder gepresst. Was man auf den ersten Blick nicht vermutet: **Jürgen Steimle** und sein Team am **Max-Planck-Institut für Informatik** und an der **Universität des Saarlandes** in Saarbrücken beschäftigen sich mit einer komplett vernetzten Welt, in der man etwa Computer über die Haut steuert.

TEXT **GORDON BOLDUAN**

An der Bürowand klebt ein wissenschaftliches Poster – es informiert über Miniatur-Bildschirme auf Fingernägeln; daneben ein Lochwandsystem mit Schraubenziehern, Zangen und sogar Hämmern. Von der Decke hängt ein Kamerasystem aus Alu-Steckschienen und sechs Infrarotkameras, und über den raugrauen Teppichboden schlängeln sich diverse Stromkabel zwischen Stapeln aus transparenten Kunststoffboxen hindurch.

Einer der Tische ist mit einem Meer aus Schreibblöcken bedeckt, dazwischen eine schwarze Tastatur und ein flacher Bildschirm. Und mittendrin steht der Prototyp einer Apparatur aus Balsaholz, Rücken an Rücken mit einem Gebilde aus Plexiglas, Mikrocontrollern, Schaltplatinen und bunten Kunststoffdrähten.

Gegensätze wie diese vereint Jürgen Steimle nicht nur in seinem Labor, sondern auch in seiner Forschung. Den „Lab Space", wie es auf dem Türschild heißt, hat er seinen Studenten und Doktoranden im Exzellenzcluster Multimodal Computing and Interaction an der Universität des Saarlandes eingerichtet. Hier leitet er die Nachwuchsgruppe Embodied Interaction, was auf Deutsch so viel bedeutet wie Verkörperte Interaktion. Er forscht auch am nur wenige Schritte entfernten Max-Planck-Institut für Informatik.

KOMMUNIKATION IN EINER VERNETZTEN WELT

Jürgen Steimle und seine Studenten sind davon überzeugt, dass in wenigen Jahren in jedem Gegenstand ein Computer stecken wird. Aus diesem Grund beschäftigen sie sich mit den Prinzipien, die es erlauben, in einer solch komplett vernetzten Welt mit dieser unsichtbaren Elektronik zu arbeiten und zu kommunizieren.

Untauglich designte mobile Endgeräte sorgen im Alltag nicht nur für Ärger, sondern auch für Gelächter. In sozialen Netzwerken wie Facebook erfreuen sich etwa Beiträge großer Beliebtheit, die zeigen, wie klobig ein Smartphone oder die Apple Watch aussehen würden, wenn Ingenieure sie im vergangenen Jahrzehnt mit der damals vorhandenen Technik gebaut hätten.

Die Spötter lassen jedoch außer Acht, dass selbst die neuesten Möglichkeiten für den einzelnen Anwender selten das Optimum darstellen. „Wenn ich jetzt über Berührungen meine Smartwatch bedienen will, dann steht mir nur ein kleines Display zur Verfügung, wobei ich den größten Teil noch mit meinen Fingern überdecke", erklärt Jürgen Steimle das, was seine Kollegen das *big thumb problem* nennen.

Der 35 Jahre alte Informatiker will solche Probleme, die entstehen, wenn man nur auf das technisch Machbare schaut, schon im Ansatz vermeiden:

„Die Form darf nicht den Restriktionen der Technik von heute folgen! Nur so können wir Interaktionsformen entwickeln, die sich passgenau in die Objekte und Gegenstände integrieren lassen, mit denen wir auf solch vielfältige Weise in unserer echten Welt arbeiten“, erklärt Steimle. Seine Werkzeuge sind unter anderem Studien am Anwender. Sein Ziel: Interaktionsformen der Zukunft zu entwickeln.

GRUNDLAGENFORSCHUNG AUF ZWEI EBENEN

„Gedruckte Elektronik ist für uns momentan die Schlüsseltechnologie. Sie erlaubt es, elektronische Bauteile mit ganz neuen Eigenschaften zu realisieren, die hauchdünn, verformbar oder gar dehnbar sind. Mit herkömmlichen Computern haben sie gar nichts mehr zu tun“, sagt Steimle. Damit betreibt er gleich auf zwei Ebenen Grundlagenforschung: Er entwirft auf der Basis systematischer Befragung völlig neue Interaktionsformen; und er setzt diese mit Technologien um, die selber noch erforscht werden.

Ein riesiges Regal teilt den „Lab Space“ in zwei Hälften, wobei die rechte den Werkbänken und der Elektrotechnikausrüstung vorbehalten ist. Steimles Gruppe – drei Doktoranden und zwei Masterstudenten – haben sich in der linken Hälfte versammelt. Sie sitzen an zwei zusammengeschobenen Tischen vor einer Wand, die mit gelben, runden, handbeschriebenen Moderationskarten behängt ist; auf einem der Tische ein Moderationskoffer mit bunten Filzstiften und zurechtgeschnittenen Stücken aus Tonpapier.

Steimle sitzt mit dem Rücken zum Fenster, das einen Ausblick bietet auf den Saarbrücker Informatikcampus samt dem Max-Planck-Institut für Softwaresysteme, dem Intel Visual Computing Institute und dem Zentrum für Bioinformatik.

Fragen in der Gruppe mit Kreativitätstechniken und den entsprechenden



Foto: Oliver Dietze

Arbeiten an der Zukunft: Jürgen Steimle (links) und sein Team beschäftigen sich damit, elektronische Bauteile mit ganz neuen Eigenschaften zu realisieren. Dazu zählt auch der iSkin-Sensor, der Berührungseingaben auf der Haut erfasst. Der Sticker im Bild rechts ist für den Unterarm designt und dient dazu, einen Musikspieler zu steuern. So haben die Forscher mehrere Tasten integriert – für „Play/Pause", „Vor", „Zurück" und „Lautstärke".



Werkzeugen zu lösen hat sich der Forscher während seiner Zeit am Media Lab des Massachusetts Institute of Technology angewöhnt. Dort war er 2012 und 2013 als Visiting Assistant Professor angestellt. Begonnen hat Steimles Weg im Jahr 2009 mit seiner Doktorarbeit, welche die Gesellschaft für Informatik als beste im deutschsprachigen Raum auszeichnete.

Seit 2013 arbeitet Steimle als unabhängiger Nachwuchsgruppenleiter am Saarbrücker Exzellenzcluster. Mit diesem Konstrukt gibt der Exzellenzcluster derzeit 15 Forschern die Möglichkeit, ihre eigene Gruppe auf- oder auszubauen und ihre eigene Agenda zu definieren. Um dabei wissenschaftliche Freiheit zu haben, erhält jedes Team ein Budget. Zusätzlich dürfen alle Nachwuchsgruppenleiter ihre eigenen Doktoranden betreuen.

Daniel Gröger ist das neueste Mitglied in Steimles Team. Seit Oktober des vergangenen Jahres arbeitet der Doktorand an einem Ansatz, der dreidimensionales Drucken auf eine vollkommen neue Art realisiert. So neu, dass Steimle seinen Studenten noch einschärft, darüber Stillschweigen zu bewahren und es nicht über Facebook und Twitter in die Welt der Technologie-Blogger hinauszuposaunen.

EIN ELASTISCHER SENSOR FÜR DIE HAUT

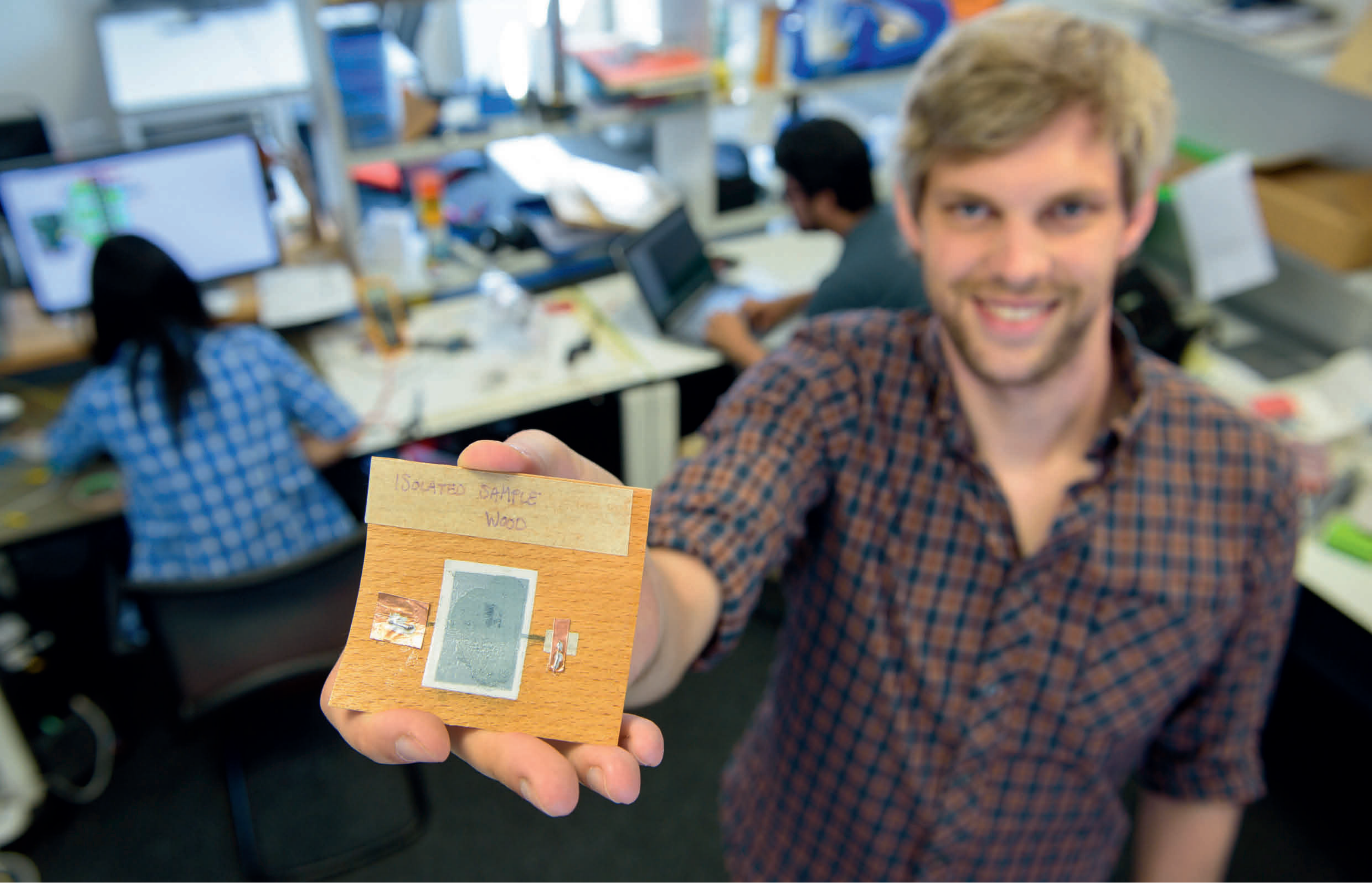
Mit kurzen, präzisen Sätzen in englischer Sprache erklärt Jürgen Steimle, was er von dem folgenden Brainstorming erwartet. Er sucht nach Anwendungen für die Komponenten, die schon jetzt in drei Dimensionen druckbar sind. Diese soll die Gruppe nun gemeinsam erarbeiten. Alle greifen zu den bunten, rechteckigen Moderationskarten. Minutenlang ist nur das Kratzen der breiten Filzstifte zu hören.

Bei dem jüngsten Projekt iSkin, mit dem Steimles Doktorand Martin Weigel gerade weltweit für Furore sorgt, war das Vorgehen anders. „Da sind wir bewusst nicht von der Technologie ausgegangen, sondern von der Haut als natürlichem Medium", sagt Steimle. Haut bietet eine größere Oberfläche als jede Smartwatch. Gezielt hatten sie dazu 22 Personen – im Durchschnitt 25 Jahre alt – gefragt, wie sie Aktionen auf der Haut ausführen würden, wenn diese als Eingabesensor für mobile Endgeräte dienen könnte.

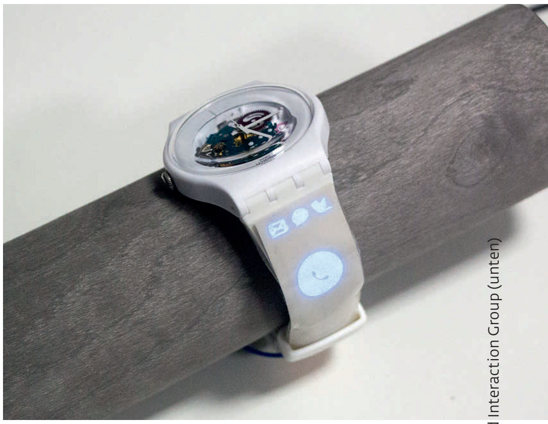
„Interessanterweise kam dabei auch eine weitere Dimension zutage, nämlich die der expressiven Interaktion. Bei den Gesten haben sich die Anwender nicht auf das Berühren beschränkt, sondern die Haut auch fest gedrückt, gezogen oder gar gedreht", so Steimle. Auf diesen Erkenntnissen aufbauend, entwickelten die Forscher den Prototyp eines Sensors.

„Er ist der erste Sensor, der für die Interaktion mit Computergeräten auf der Haut getragen werden kann und elastisch ist", sagt Steimle. Die Elastizität sei dabei eine große Herausforderung gewesen, da man dafür Leiter benötigt, die nicht brechen, wenn sie gedehnt werden. Die Saarbrücker Informatiker arbeiteten dafür mit Materialwissenschaftlern der US-amerikanischen Carnegie Mellon University zusammen. Diese hatten ein Verfahren ersonnen, das verschiedene Arten von Silikon kombiniert, um einen solchen Sensor zu realisieren. >

Foto: Universität des Saarlandes, Embodied Interaction Group



Prototypen: Doktorand Simon Olberding zeigt ein dünnes, lichtemittierendes Display, das die Wissenschaftler mit dem PrintScreen-Verfahren auf Holz gedruckt haben. Das Display erfasst Toucheingaben des Nutzers durch das Furnier hindurch. Ebenfalls mit dieser Methode wurde das Display gedruckt, das eine herkömmliche Swatch-Armbanduhr ergänzt und mehrere Symbole anzeigt – etwa wenn man eine E-Mail-Nachricht erhalten hat.



Fotos: Oliver Dietze (oben), Universität des Saarlandes, Embodied Interaction Group (unten)

Silikon ist zudem hautfreundlich und lässt sich daher problemlos mit einem medizinischen Kleber auf der Haut befestigen. Drückt man dann auf die vordefinierte Stelle auf dem Sticker, kann man beispielsweise einen Anruf entgegennehmen oder die Lautstärke seines Kopfhörers regulieren.

AUCH DAS ÄSTHETISCHE EMPFINDEN IM BLICK

Mit dieser Funktionalität waren die Saarbrücker Wissenschaftler jedoch noch lange nicht zufrieden. „Unser Ziel war es, einen Sensor zu schaffen, der auch wirklich den Menschen mit seinem ästhetischen Empfinden berücksichtigt. Er musste daher gut aussehen und ein visuelles Statement sein, mit dem sich der jeweilige Träger identifizieren kann“, so Steimle.

Deshalb entwarfen die Forscher auch Vorgehensweisen, die es Designern ermöglichen, Linien, Formen und Silhouetten nach dem jeweiligen Geschmack in iSkin-Sensoren zu verwandeln. Das Ergebnis: Die semitransparenten Steuerschnittstellen sehen auf der Haut aus wie kunstvolle Tattoos und gleichen herkömmlichen Bedienelementen gar nicht mehr.

In der Runde beginnen die Leute in Steimles Team nun, einer nach dem anderen ihre Ideen vorzustellen, indem sie die jeweilige Karte mit der Zeichnung hochhalten und diese in wenigen Worten erklären. Danach wandern die Karten auf einen Stapel in der Mitte, jeder nimmt sich nun einen Teil davon, um sie zu ergänzen und anschließend an seinen rechten Nachbarn weiterzugeben. In den nächsten 15 Minuten machen die Karten die Runde. Steimle schmunzelt bei vielen und greift bei einigen sogar nach einer neuen Karte, um weitere Gedanken mit dickem Filzstift in kleinen Buchstaben zu notieren.

Dieses kontinuierliche Weiterdenken zeigt sich auch in seinen Projekten. Eine andere große Frage, der sich Steimles Gruppe widmet, lautet: Wie kann man es Laien ermöglichen, Technik auf einfache Weise selbst an ihre Bedürfnisse anzupassen? Eine Antwort haben sein Doktorand Simon Olberding und Steimle bereits mit dem Prototyp ihres Projekts PrintScreen geliefert. Dieser ist zu Demonstrationszwecken auf einem separaten Tisch aufgebaut.

Eine Postkarte zeigt beispielsweise ein historisches Automobil. Drückt man auf einen Knopf, so leuchten Hinterachse und Lenkradstange in dersel-

ben Farbe auf. Möglich machen dies zwei Segmente auf einem flexiblen Display, die genau der Form der Autoteile entsprechen. Steimles Gruppe hat das Display auf einem handelsüblichen Tintenstrahldrucker ausgedruckt. Der druckbare Bildschirm ist elektrolumineszent: Legt man eine elektrische Spannung an, gibt er Licht ab.

Bisher war es nur möglich, Displays in Massen zu produzieren, nicht aber für einen einzelnen Nutzer. Die Saarbrücker Forscher haben dies geändert. Der von ihnen entwickelte Prozess sieht wie folgt aus: Der Anwender entwirft mit einem Programm wie Microsoft Word oder Powerpoint eine digitale Vorlage für das gewünschte Display. Mit zwei von den Forschern ersonnenen Methoden kann er diese nun drucken. Das geschieht im Tintenstrahl- oder Siebdruckverfahren, wobei die Tinte leitfähige Materialien enthält.

Die Verfahren haben unterschiedliche Stärken und Schwächen, lassen sich aber jeweils von einer Person in nur wenigen Minuten oder in bis zu vier Stunden erledigen. Ergebnis: relativ hochaufgelöste, nur 0,1 Millimeter dünne Displays. Eine DIN-A4-Seite voll zu bedrucken schlägt mit rund 20 Euro zu Buche; das Teuerste ist dabei die Spezialtinte.

Es kommt noch besser: Da sich mit den Verfahren auch Materialien wie Papier, Kunststoffe, Leder, Keramik, Stein, Metall und Holz bedrucken lassen, sind allerlei zweidimensionale, aber auch dreidimensionale Formen möglich. Laut Aussage der Forscher sind selbst berührungsempfindliche Displays auf diese Weise druckbar und die Anwendungsmöglichkeiten damit vielfältig.

Displays lassen sich so in nahezu jeden Alltagsgegenstand integrieren – nicht nur in Papierobjekte, sondern zum Beispiel auch in Möbel und Einrichtungsgegenstände, Taschen oder am Körper getragene Accessoires. So könnte man etwa das Armband einer Uhr erweitern, damit es aufleuchtet, wenn eine Kurznachricht eintrifft. „Wenn wir unser Verfahren jetzt noch mit dreidimensionalem Drucken kombinieren, können wir dreidimensionale Gegenstände drucken, die Informationen anzeigen und auf Berührungen reagieren“, sagt Jürgen Steimle.

ZUR ENTSPANNUNG EINE CELLO-SUITE VON BACH

Die Karten sind inzwischen orangefarben – Grün hat die Gruppe bereits aufgebraucht. Doch selbst der Luxus eines professionellen Moderationskoffers kann die Unzulänglichkeiten einer schlechten Handschrift nicht ausgleichen. Anstatt *wearables* – Computer, die man am Körper trägt – liest Steimle den englischen Ausdruck für Werwölfe und fragt ungläubig in die Runde. Gelächter erfüllt den Raum.

Nach 20 Minuten rastet auch die letzte Kappe auf der Spitze eines Filzstiftes ein. Die Studenten schieben ihre Karten in die Mitte des Tisches, jede einzelne wird nun besprochen. In der Ideensammlung finden sich Stichworte wie „personalisiertes Smartphone-Cover“, „interaktiver Ring“ oder „Geräte, die man am Körper trägt“. Zum Schluss hält Daniel Gröger ein ganzes Bündel Karten in den Händen und lässt diese wie Banknoten über den Daumen rauschen.

Ein paar Stunden später sitzt Jürgen Steimle in seinem Büro, jedoch vor dem Schreibtisch statt hinter diesem. Ein weiterer Stuhl steht vor ihm, darauf ein gelbes Notenbuch, gegen das Rückenteil gelehnt. Steimles Augen fixieren die Noten, während seine linke Hand den Hals eines Cellos hält und die rechte den Bogen führt. Er spielt die erste Cello-Suite von Bach, ganz in die Musik vertieft. Während seiner Studienzeit in Freiburg hat Steimle sich als Cellist Geld verdient, hat als Mitglied des Akademischen Orchesters in Russland und Frankreich gespielt. Heute dient die Musik seiner Entspannung nach einem vollgepackten Arbeitstag.

Steimle kratzt, schlägt, zupft, reißt. Er reizt das Instrument sowohl zu tiefsten als auch zu höchsten Tönen, bevor er das Spiel abbricht: „Es ist ein relativ einfaches Werkzeug, doch man kann damit eine hochkomplexe Welt erschaffen. Dieser Gegensatz, das ist das Spannende für mich – auch in meiner Forschung.“ ◂

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Unsere Welt wird immer stärker vernetzt. Forscher gehen davon aus, dass bald in praktisch jedem Gegenstand ein Computer stecken wird.**
- **Gedruckte Elektronik gilt derzeit als Schlüsseltechnologie. Sie erlaubt es, Computergeräte mit ganz neuen Eigenschaften zu realisieren, die hauchdünn, verformbar oder gar dehnbar sind.**
- **Jürgen Steimle und sein Team beschäftigen sich mit den Prinzipien, wie man mit diesen eingebetteten Computern arbeiten und kommunizieren kann.**
- **So forschen die Wissenschaftler an einer neuen Art, personalisierte Computergeräte zu drucken. Oder sie nutzen die menschliche Haut als Eingabesensor für mobile Endgeräte.**



Bilanz im Biotop

Artenvielfalt bringt zahlreiche ökologische Vorteile. In groß angelegten Feldversuchen erforschen **Gerd Gleixner** und **Ernst-Detlef Schulze**, Wissenschaftler am **Max-Planck-Institut für Biogeochemie** in Jena, die Biodiversität in Wiesen und Wäldern sowie deren Auswirkungen auf die Ökosysteme und den Kohlenstoffhaushalt der Erde. In ihren Studien kommen die Forscher auch zu überraschenden Erkenntnissen darüber, was dem Artenschutz wirklich dient.

TEXT **CATARINA PIETSCHMANN**



Gräser und Blüten, so weit das Auge reicht. Farbige Holzpflöcke sprenkeln das Bild, grenzen kleine und große Parzellen gegeneinander ab. Manche werden aus der Vogelperspektive von Wärmebildkameras beäugt.

Über 16 Hektar erstreckt sich das Jena-Experiment am Stadtrand, nordöstlich von der Saale gesäumt. Dahinter steigen Hügel an, teils bewaldet und vereinzelt wie betupft mit Streuobstwiesen. Kein Wölkchen ist in der Mittagshitze am Himmel zu sehen – der perfekte Tag also für Experimente mit Kohlendioxid, das mit dem schweren Kohlenstoffisotop ^{13}C markiert ist. „Nur wenn es richtig sonnig ist, läuft die Photosynthese auf vollen Touren, und die Pflanzen verstoffwechseln sehr rasch das markierte Gas“, erläutert Gerd Gleixner. Er leitet die Arbeitsgruppe Molekulare Biogeochemie am Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena und will wissen, wie sich das Zusammenspiel von verschiedenen Arten der Flora und Fauna auf die Funktionstüchtigkeit von Ökosystemen auswirkt. Und ob eine erhöhte Diversität sich verändernde und extreme Umweltbedingungen besser abpuffern könnte.

Am hinteren Wiesenrand hocken etwa 20 Studenten und Wissenschaftler, mit Strohhüten vor der prallen Sonne geschützt, bodennah auf Kunststoffschemeln. Auf kleinen Wiesenquadraten liegen Metallrahmen, darauf würfelförmige Plexiglasglocken, über die das markierte Kohlendioxid für 30 Minuten auf die grünen Probanden einströmt. Nach einem bestimmten Zeitplan schneiden die Forscher Gräser und Kräuter, Halm für Halm, aus den Versuchsquadraten und legen sie, nach Arten getrennt, auf farbige Tabletts. Im Labor werden sie später analysieren, wie schnell und in welche Pflanzenteile genau das besondere CO_2 als Zuckerbaustein eingearbeitet wurde.

Andere Studenten haben es auf den Wurzelbereich abgesehen und löchern ihre Quadrate bei der Entnahme von Boden- und Wurzelproben wie

Feldforschung auf der Wiese: Über 16 Hektar erstreckt sich das Jena-Experiment am Stadtrand nördlich der Saale. Dort untersuchen Wissenschaftler, wie sich die Artenvielfalt auf die Funktion von Ökosystemen und den irdischen Kohlenstoffhaushalt auswirkt.

Foto: Catarina Pietschmann



Markus Lange (links) und Gerd Gleixner analysieren die organischen Stoffe, die im Bodenwasser enthalten sind und viel über Prozesse in einem Ökosystem verraten. Das Wasser sammelt sich in Flaschen, in denen ein Unterdruck herrscht. Die Behälter stehen in einer im Boden eingelassenen Wanne.

einen Schweizer Käse. Unter Sonnendächern am anderen Ende der Wiese sieben sie zunächst die Erde aus. Ebenso wie das sauber gewaschene Wurzelwerk wird sie für die Analyse in Probenbeutel eingetütet.

Zwölf Jahre läuft das Jena-Experiment nun schon. 2003, als die 20 mal 20 Meter großen Experimentierflächen angelegt wurden, gab es hier nichts außer einem Acker, den die Uni Jena pachtete. Die Max-Plack-Gesellschaft kaufte aus zentralen Mitteln das Saatgut, und dann ging's los. 64 für die Saaleaue typische Arten aus vier großen Pflanzengruppen wurden ausgesät: Gräser, kleine Kräuter, große Kräuter und Leguminosen. Darunter so verbreitete wie Löwenzahn, Wiesenglockenblume, Gänseblümchen, Margerite, Hahnenfuß, Rotklee, Luzerne, Skabiose und Spitzwegerich. Jeweils als Monokultur und in Kombination von 2, 4, 8, 16, 32 und zuletzt allen 64 Arten. Und das Ganze jeweils dreimal, quasi in Blockstreifen parallel zur Saale, um die Entfernung zum Fluss und daraus resultierende Bodenunterschiede statistisch auszugleichen.

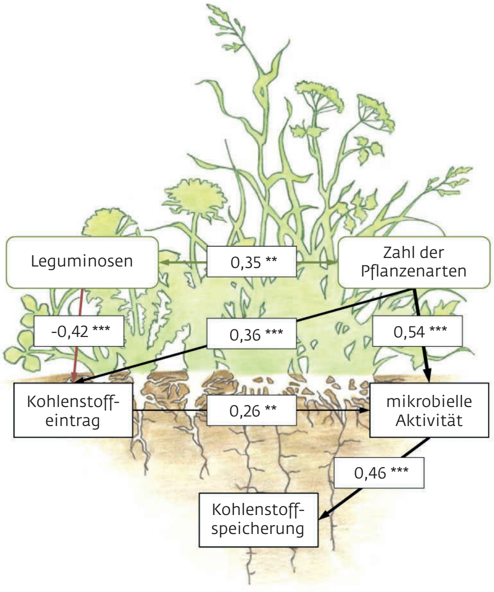
DAS „WER MIT WEM" DES ÖKOSYSTEMS

Nur in der Mitte der Wiese, auf dem *bare ground*, durfte und darf bis heute nichts sprießen. Anfangs wurden dort sogar die Regenwürmer vertrieben – mit Elektroschocks. „Wenn wir die Kohlenstoffspeicherung im Boden untersuchen wollen, müssen wir auch wissen, wie dieser sich ganz ohne Vegetation verhält", sagt Gleixner. Sich selbst überlassene Flächen, auf denen sich entspannt ausbreiten darf, was auch immer heranweht oder wuchert, bilden das andere Extrem. Diese Vergleichsflächen verwildern und beginnen bereits zu verwalden.

Um das Experiment am Laufen zu halten, werden die Parzellen, auf denen gesät wurde, zweimal im Jahr geschnitten und zweimal von einer Heerschar von Studenten gejätet. Die Helfer rupfen jedes Pflänzchen aus, das nicht zu den exklusiven 64 gehört. Ansonsten sind die 480 Versuchsquadrate sich selbst (und den Forschern) überlassen. Neben Arbeitsgruppen der Universität Jena und der Max-Planck-Gesellschaft gehen hier Wissenschaftler vieler anderer deutscher Institute sowie Schweizer und Niederländer im Rahmen einer DFG-Forschergruppe ihren Fragen an das „System Wiese" nach. Botaniker, Insektenkundler, Mikrobiologen, Hydrologen und andere Spezialisten nutzen die Fläche gemeinsam, um das „Who's who" und „Wer mit wem" des Ökosystems zu verstehen – oberirdisch wie im Boden darunter.

Gleixner ist Biogeochemiker und vorrangig an Letzterem interessiert. Sein Team zapft unter anderem Bodenwasser- und Gasproben ab, die über feine Schläuche aus dem Erdreich in eingelassene Flaschen sickern. Im Labor extrahieren die Forscher daraus die organische Fraktion, ein Sammelsurium aus

Foto: Anna Schroll



Wie beeinflussen sich verschiedene Eigenschaften eines Ökosystems? Welche Auswirkungen hat dies auf die im Boden gespeicherte Kohlenstoffmenge? Schwarze Pfeile stehen für einen positiven Einfluss, der rote für einen negativen. Je näher der Betrag der Zahl auf einem Pfeil an 1 liegt, desto größer der Einfluss; und je mehr Sterne eine Zahl trägt, desto aussagekräftiger ist sie. Eine hohe Zahl von Pflanzenarten steigert also die mikrobielle Aktivität im Boden und gleichzeitig die Kohlenstoffspeicherung. Daher vermuten die Forscher, dass Mikroorganismen im Boden die Kohlenstoffspeicherung bewirken.

vielen kleinen Molekülsorten. „Das ist quasi der Fingerabdruck des Ökosystems", sagt Gleixner. Pflanzen, Mikroorganismen, Würmer und was sonst im Boden kreucht, hat lebend und posthum Spuren darin hinterlassen, und Gleixners Team versucht diese zu lesen.

Geräte für die verschiedenen Arten der Chromatografie, Massenspektrometer und andere Hightech-Apparate füllen eine ganze Institutshalle. Hier werden die Molekülcocktails immer feiner aufgetrennt und analysiert. Langkettige Kohlenwasserstoffe etwa stammen meist aus Blattwachsen, kurzkettige von Mikroorganismen. „Wir kennen längst nicht jedes Signal. Aber wir nehmen alle Informationen zusammen, vergleichen Ökosysteme und schauen, ob wir in gleichen Systemen auch dieselben Marker wiederfinden", erklärt Gleixner. Zwecks Vergleichs von Ökosystemen reisen seine Mitarbeiter schon mal bis nach Sibirien, Tibet oder Patagonien.

BEI HOHER VIELFALT WIRD MEHR KOHLENSTOFF GESPEICHERT

Seit Längerem wissen die Forscher, dass mit steigender Diversität der Pflanzen auch die Biomasse auf einem Fleckchen Erde zunimmt – und das ganz ohne Dünger! Diese künstliche Nahrungsergänzung wird offenbar überschätzt. „Das meiste wird in der Landwirtschaft im Frühjahr ausgebracht, vom Regen ausgewaschen und kommt den kleinen Pflänzchen gar nicht zugute", sagt Gleixner.

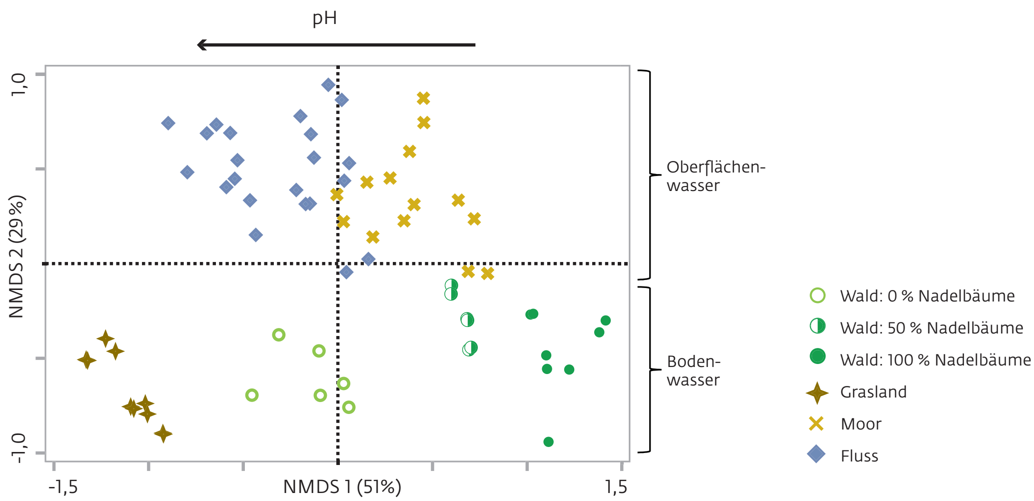
Viel erstaunlicher ist jedoch, dass der Boden bei höherer Vielfalt auch vermehrt Kohlenstoff und Stickstoff speichert. Gleixner fragt sich: Wo kommt das alles her? Welche Rolle spielen die Mikroorganismen dabei, und welche sind da überhaupt am Werk? Sind es einzelne Gruppen, oder gibt es einen Community-Effekt? Dazu analysiert er neben der chemischen Struktur des Bodens auch die DNA und RNA ihrer winzigen Bewohner. Demnach liefern artenreiche Wiesen den Bodenorganismen mehr Nährstoffe und steigern so Produktivität und genetische Vielfalt der mikrobiellen Gemeinschaft. „Bodenorganismen sind uneigennützige Kommunisten. Sie teilen einfach alles – vom Futter bis zum eigenen Erbgut. Die Population ist dadurch ständig im Wandel und baut jeglichen Kohlenstoff im Boden ab, meist zu Kohlendioxid und, wo wenig Sauerstoff ist, zu Methan." >

Gerd Gleixner (links) und seine Kollegen untersuchen unter anderem die Menge des im Boden gespeicherten Kohlenstoffs. Dazu nehmen sie Boden- und Pflanzenproben, um zu sehen, wo genau und wie viel markiertes CO_2 die Pflanzen verarbeitet haben. Auf dem Metallrahmen (Mitte) saß zuvor eine Plexiglasglocke, über die das markierte Kohlendioxid auf die Pflänzchen einströmte.









Oben: Die molekularen Fingerabdrücke verschiedener Ökosysteme im Wasser: In einem weltweiten Projekt wurden Tausende organische Substanzen im Oberflächen- oder Bodenwasser mit ultrahochauflösender Massenspektrometrie untersucht. So ergeben sich NMDS-Werte (nicht-metrische multidimensionale Skalierung), die als Fingerabdrücke von Ökosystemen dienen. Die horizontale Achse (NMDS 1) erklärt dabei 51 Prozent und die vertikale Achse (NMDS 2) 29 Prozent der Unterschiede im Datensatz. Die Substanzen aus Wasser von Nadel-, Laub- und Mischwäldern sowie von Grasland, Mooren und Flüssen lassen sich so unterscheiden. Wichtiger Faktor ist dabei der pH-Wert des Bodens.

Unten: Mit einem ^{14}C-Beschleuniger-Massenspektrometer analysiert Martin Göbel den Gehalt des radioaktiven Kohlenstoffisotops ^{14}C in Bodenproben. Da dessen Konzentration mit steigendem Alter des Materials sinkt, geben die Untersuchungen Aufschluss über Umsatz und Herkunft des Kohlenstoffs im Boden.



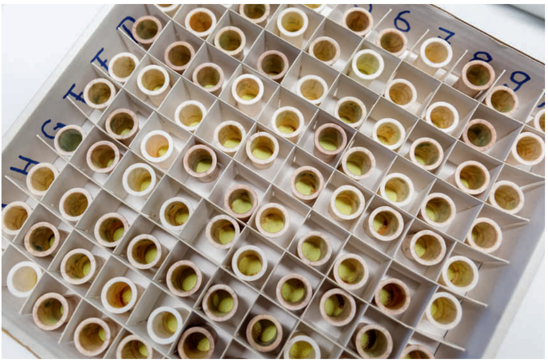
Selbst Schadstoffe werden von den Mikroben auf diese Weise geknackt und unschädlich gemacht. Das ist essenziell für sauberes Trinkwasser. Aber auch ein Teil der Wiesengemeinschaft profitiert davon, wie die ^{13}C-Analysen des Grünschnitts ergaben. „Bodennahe Pflanzen wie Wegeriche, deren breite, fleischige Blätter fast auf der Erde liegen, verarbeiten vorrangig das CO_2, das aus dem Boden diffundiert, und binden es wieder." In ihnen fanden die Forscher deshalb nur sehr wenig des schweren Kohlenstoffs ^{13}C. „Obergräser dagegen atmen fast ausschließlich ein, was in der Luft ist."

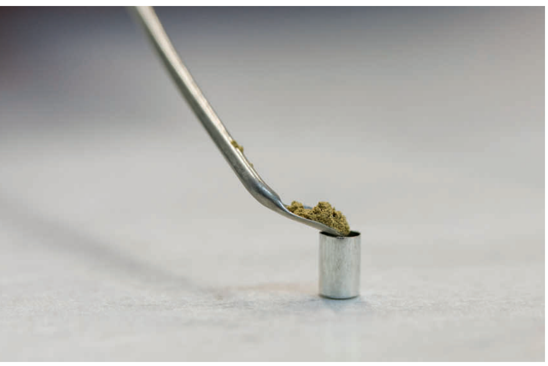
Gingen die Forscher anfangs davon aus, dass die Stoffflüsse einer Wiese ideal sind, wenn einzelne Vertreter der vier großen Pflanzengruppen darauf vereint sind, sehen sie heute: Es kommt viel mehr darauf an, dass in einem Ökosystem Pflanzen mit verschiedenen Eigenschaften vertreten sind – die Wahrscheinlichkeit für eine gedeihliche Mischung steigt dabei mit der Zahl der Arten. Der Zusammenhang wird in sogenannten Trait-Based-Experimenten untersucht, für das Pflanzen nach zwei primären Eigenschaften gezielt gemixt wurden.

Zum einen nach dem zeitlichen Verlauf ihres Wachstums, zum anderen nach der Form ihrer Wurzelbildung. „Gräser wachsen im Frühjahr am schnellsten, während Leguminosen auch im Herbst noch krautig wachsen", erklärt Gleixner. Eine gute Mischung früher und später Arten ergibt, über das Jahr gesehen, den besten Ertrag. Multispektralkameras, die einzelne Versuchsflächen täglich bei unterschiedlichen Wellenlängen aufnehmen, dokumentieren das Wachstum von Einzelpflanzen sowie ihren Gehalt an Chlorophyll und anderen Farbstoffen. Und was die Wurzelbildung angeht: Sind Flach- und Tiefwurzler gut gemischt, können sie die Nährstoffe im Boden optimal ausnutzen. Was auf die Wurzeln zutrifft, gilt ebenso für Blatt und Blüte: Hoch und niedrig, breit und schmal – je vielfältiger der Mix, desto besser werden die Ressourcen genutzt, sprich: Sonne, Nahrung und Feuchtigkeit.

Und Multikulti macht das Ökosystem stark! „Mit steigender Vielfalt erhöht sich die Widerstandskraft der Wiese gegen äußere Störungen wie etwa

Grafik: Roth, V.-N., Dittmar, T., Gaupp, R., Gleixner, G., 2014. Ecosystem-specific composition of dissolved organic matter. Vadose Zone Journal; Foto: Sven Döring







Spurensuche im Boden: Um den Gehalt der Bodenproben an anorganischem Kohlenstoff und Stickstoff zu messen, werden die Proben in Keramiktöpfchen (links oben) eingewogen und verbrannt, sodass nur anorganische Substanzen zurückbleiben. Um die Stoffwechselwege und -geschwindigkeit von Kohlenstoff und Stickstoff in Pflanzen nachzuvollziehen, stellen die Jenaer Forscher Versuche mit schweren Kohlenstoff- und Stickstoffisotopen an. Franziska Günther analysiert das Isotopenmuster von Biomarkern mit einer Kombination aus Gaschromatografie und Massenspektrometrie (rechts). Für andere Analysen der Isotopenverhältnisse wiegen die Forscher Proben zunächst in Zinnkapseln ein (links unten) und verbrennen sie anschließend.

Fotos: Sven Döring (3)

Trockenheit, Schädlingsbefall oder Mäuseplagen", sagt Ernst-Detlef Schulze, Initiator des Experiments und bis heute der gute Geist der Wiese. „Am empfindlichsten reagierten unsere Monokulturen. Die meisten sind an Schädlingen eingegangen." Selbst das sonst unverwüstliche Gänseblümchen. Ohne Abstandshalter, die eine direkte Infektion von Pflanze zu Pflanze verhindern, bekommt es einen Pilz und stirbt. „Das Grippe-im-Kindergarten-Phänomen", sagt Schulze lächelnd.

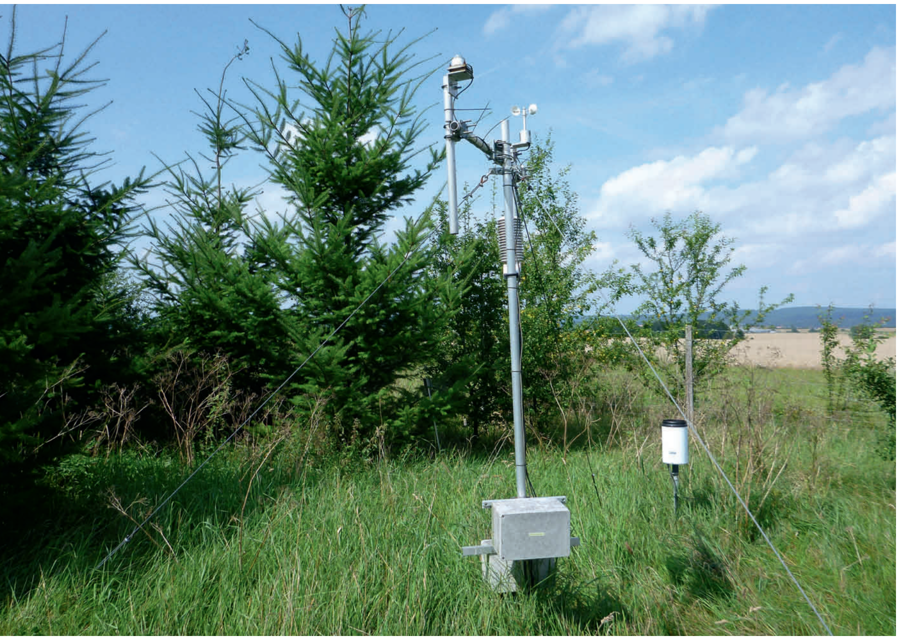
Pflanzliche Vielfalt wirkt sich auch positiv aus auf die Diversität der übrigen Organismen – der Tiere. Das stellte ein Zoologenkonsortium fest, das Blattläuse, Heuschrecken, Bodenpilze, Würmer und Pflanzenpathogene im Blick hat. Das war neu für den Naturschutz, der sich bislang die Frage stellte: Müssen die Schmetterlinge geschützt werden oder die Pflanzenvielfalt? „Ganz klar Letzteres, denn so schütze ich die Schmetterlinge gleich mit", sagt Schulze. Insekten riechen Blütendüfte kilometerweit und folgen der Duftspur wie einem roten Faden. Pathogene siedeln sich ebenfalls leicht an, da ihre Sporen über weite Entfernungen vom Wind herangetragen werden. Am langsamsten sind die Bodenorganismen. Manche haben es bis heute nicht in die Mitte der Versuchswiese geschafft.

„JEDE ART HAT IHRE BERECHTIGUNG"

Je länger das Experiment läuft, desto interessanter wird es, sagt Schulze. Vor allem dort, wo die Flächen nicht gepflegt wurden, denn eine Kleinwiese jeder Diversitätsstufe wurde seit 2003 nicht gejätet. „Wir wollten wissen, wie viele Arten sich dort einigen würden." Es sind ziemlich genau 30. Bei dieser Zahl pendeln sich mit der Zeit nicht nur die Ökosysteme ein, die mit weniger Arten begonnen haben, sondern auch jene, die mit deutlich mehr Arten gestartet sind. „Dort, wo wir einst 64 ausgesät haben, verlieren wir permanent Arten", sagt Schulze. „Mal angenommen, 30 ist die magische Zahl für Auenwiesen. Daraus könnte sich rechnerisch ergeben, wie viele Heuschrecken, Schmetterlinge, Libellen, Pflanzensauger und Mäuse dort zusammenkommen."

Und was ist für Gerd Gleixner die wichtigste Erkenntnis des Experiments? „Im Grunde, dass jede Art ihre Berechtigung hat. Ein großer Artenpool sichert das Überleben der Pflanzengemeinschaft. Und damit auch das unsere." Gleixner denkt in sehr großen Zeiträumen, denn sein zweiter Schwerpunkt ist die Rekonstruktion des Paläoklimas. „Sieht man sich die Eiszeiten an und wie sich Pflanzengemeinschaften über große, langfristige Klimaentwicklungen veränderten, können Arten, die jetzt vielleicht ganz unbedeutend sind, auf einmal wichtig werden." Schon deshalb ist keine einzige verzichtbar.

Aber im Grunde müssten wir uns keine Gedanken machen, fügt Gleixner schmunzelnd an. „Wir wissen: Drei Millionen Jahre nach einem Super-GAU sind die Pflanzen zurück. Ob es die Menschheit dann noch gibt, ist eine ganz andere Frage." >





Im Biotree-Experiment wollen Ernst-Detlef Schulze (rechts) und seine Mitarbeiter herausfinden, wie sich die Artenvielfalt in verschiedenen Wäldern entwickelt. Bei der Auswertung berücksichtigen die Forscher auch Klimadaten, die unter anderem mit einer Wetterstation (links) im thüringischen Kaltenborn bei Bad Salzungen aufgezeichnet werden.

Doch zurück in die Gegenwart. Für Ernst-Detlef Schulze ging mit dem Jena-Experiment ein Forschertraum in Erfüllung: auf dem fruchtbaren Lehmboden der Saaleaue jenen Langzeitversuch zu wiederholen, der in den 1990er-Jahren auf karstigen, sandigen Böden des Cedar Creek in Minnesota erste Erkenntnisse zur Biodiversität gebracht hat. Und weil die Situation um die Jahrtausendwende günstig war – ehemalige Militär- und Grenzflächen der vergangenen DDR harrten der Wiederaufforstung, und es gab dafür sensationelle Zuschüsse –, setzte Schulze mit Biotree noch eins drauf. Für den heute 74-Jährigen, der noch eine Emeritusgruppe am Jenaer Max-Planck-Institut leitet, war es eine Notwendigkeit: „Kräuter und Gräser wachsen schnell und leicht, doch unsere Landschaft besteht zu einem Drittel aus Wald. Die Frage, ob die gleichen Diversitätsgesetze, die wir auf den Wiesen sehen, auch im Forst gelten, war noch völlig offen."

Gesagt, getan. Gemeinsam mit der Thüringer Landesforstverwaltung wandelten die Forscher 2004 einen Truppenübungsplatz bei Bad Salzungen mit einem Boden aus Sand und Sandstein, ein Panzerübungsgelände im Thüringer Becken mit kalkigem, trockenem Boden sowie ein Niedermoor mit Schwarzerde auf Kalk in Versuchsflächen um. Kaum waren die Sprengstoffräumkommandos abgezogen, pflanzten die Forscher mit ihren Helfern auf den insgesamt 90 Hektar 5000 Bäume. Die Flächen, auf denen heute Monokulturen, zwei, vier oder acht Baumarten in Schachbrettmustern stehen, umfassen jeweils einen Hektar und sind zusätzlich gedrittelt. „Ein Teil wurde sich selbst überlassen, der zweite regulär durchforstet und der dritte mit seltenen Baumarten angereichert", sagt Schulze. Zum Beispiel mit vereinzelten Kirschen in einer Fichten-Buchen-Mischung.

DIE GRÖSSTE VIELFALT IM BEWIRTSCHAFTETEN FORST

Die zweijährigen Baumschulzöglinge hatten es anfangs nicht leicht. „Sie hatten echte Schwierigkeiten, sich gegenüber dem Gras zu behaupten, mussten häufig freigeschnitten und teils sogar nachgepflanzt werden", erzählt Schulze. Aber zum Lohn der Mühe erlebten die Forscher auf jeder Fläche Überraschungen. Es gewann stets eine Baumart, auf die niemand gesetzt hätte. Im Thüringer Becken etwa, auf extrem trockenen, flachgründigen Gesteinsböden, dominierten die Lärchen – Buchen gingen kläglich unter. „Wer Laubwald aufforsten wollte, musste bisher immer ein Drittel Buche anpflanzen, sonst gab es keine Fördermittel. Völlig falsch also", sagt Schulze. Dank Biotree wurden die Richtlinien inzwischen geändert, und thüringische Forstreferendare werden heute auf dem Gelände ausgebildet.

Biotree stieß in Europa auf große Resonanz und ging in ein EU-Projekt über, für das in Belgien, Italien, Finnland, Schweden und Tschechien vergleichbare Versuchsflächen angelegt wurden. Inzwischen ist das Experiment auch Part des weltweiten TreeDivNet, was 18 ähnliche Projekte mit insgesamt knapp einer Million Bäumen umfasst – von Australien über China bis nach Mittelamerika und Kanada.

Und welche Erkenntnisse brachte dass auf 100 Jahre angelegte Biotree bisher? Die größte Diversität herrscht im bewirtschafteten Forst – und nicht auf geschützten Flächen. „Die artenreichste Konstellation ist der Altersklassenwald im Laubwald", sagt Schulze. Im Altersklassenwald werden alle Bäume im gleichen Jahr angepflanzt. Dass die Bäume hier alle etwa im selben Jahrzehnt gepflanzt wurden, hat auf die Artenvielfalt keinen Einfluss, sehr wohl

Foto: MPI für Biogeochemie (links), Thomas Stephan (rechts)

aber, dass solche Wälder gepflegt werden. Daher gibt es in ihnen mehr Kräuter, mehr Lichtzeiger – das sind Arten, die kein geschlossenes Kronendach vertragen –, mehr Totholz, Flechten, Moose, Pilze und Bodenbakterien als in jedem Naturschutzgebiet.

„So absurd es klingt: Die Biodiversität lässt sich deutlich verringern, indem man einen Nationalpark einrichtet“, sagt Schulze schmunzelnd. „Stellt man Wald unter Naturschutz, wie etwa den Hainich im Thüringer Becken, gehen massiv Arten verloren, vor allem durch Wildverbiss.“ Im Wirtschaftswald dagegen ist seit Beginn der Aufzeichnungen vor 250 Jahren keine einzige Art mehr ausgestorben. Nachhaltige Forstwirtschaft ist also der beste Artenschutz.

Zum Thema Naturschutz hat Ernst-Detlef Schulze klare Ansichten, die er wissenschaftlich belegen kann. „560 Pflanzenarten gelten in Deutschland als gefährdet, und 42 starben bislang aus. Aber 960 sind neu entstanden!“ Es sind sogenannte Apomikten, die sich nicht durch Bestäubung, also sexuell fortpflanzen. In ihnen übernehmen vielmehr diploide Zellen – Zellen also, die zwei Chromosomensätze besitzen – die Funktion der befruchteten Eizelle; sie vermehren sich also ungeschlechtlich. Von der Roten Liste werden sie schlicht ignoriert. „Wir müssen endlich anerkennen, dass auf unseren Agrarwüsten, ob man sie mag oder nicht, eine gewaltige Evolution stattfindet!“ Beinahe ein Drittel aller neuen Arten hierzulande entstand durch Störungen. „Und das nicht trotz, sondern wegen der Bewirtschaftung.“ So bildeten sich mehr als 250 Löwenzahnarten vegetativ.

In Deutschland stehe der Naturschutz auf drei Beinen, die in verschiedene Richtungen spazierten, so Schulze. Er legt ein Mengendiagramm auf den Tisch: Auf der Roten Liste für Deutschland befinden sich 825 seltene und potenziell gefährdete Arten. Unter Naturschutz stehen 370. Sie dürfen nicht ausgegraben und nicht gehandelt werden. Und dann sind da noch die Verantwortungsarten, 303 an der Zahl, die nur oder fast ausschließlich in Deutschland vorkommen. „Aber nur 55 Arten finden sich in der Schnittmenge von allen dreien.“ Das macht es für Wald- und Wiesenbesitzer praktisch unmöglich zu erkennen, welche Pflänzchen sie besonders hegen müssen. „Denn es gibt gefährdete Arten, die nicht geschützt sind – und geschützte, die nicht gefährdet sind! Da läuft gewaltig was schief!“

STUDIEN ZU DEN BESTEN UMZÄUNUNGEN GEGEN WILD

Bei diesem Thema kommt Schulze mächtig in Fahrt. Gut, dass es im Wald so friedlich ist. Seit einiger Zeit bewirtschaftet er selbst einen Laub- und Nadelwald in Thüringen und ein Stückchen „Fast-Urwald“ in Rumänien. Im eigenen Laubwald, einem Diversitäts-Sahnestückchen, wie er sagt, stehen 18 Baumarten, darunter seltene alte Wildbirnen und -äpfel. „Ziemlich sauer und ungenießbar“, sagt er.

In gesunden Ökosystemen bilden Flora und Fauna eine Einheit. Auf Wiesen und ebenso im Wald, den blatthungriges Wild durchstreift. Im eigenen Forst treibt Schulze Studien zum Wildverbiss und den besten Umzäunungen gegen Wild. „In Rumänien habe ich Bär, Wolf und Luchs, hier in Thüringen Reh, Hirsch und Muffel. Und ich muss den Bestand regulieren!“, fügt er an. Natürlich nur so viel, wie die Abschussquote erlaubt. Auch so ein kontroverses Thema. Doch Jagd und Forstwirtschaft haben die gemeinsame Aufgabe, das biologische Gleichgewicht und die Artenvielfalt im Wald zu erhalten. Klar hat Schulze einen Jagdschein, und wie die meisten Jäger baut er seine Hochsitze selbst. Deshalb auch die Kunststoffschiene am Beim. Kürzlich stürzte er dabei ab und riss sich die Achillessehne. Autsch! Ernst-Detlef Schulze winkt ab. „Ach was! Halb so wild.“ Artenvielfalt und der Artenschutz beschäftigen ihn ganz offenkundig mehr. ◂

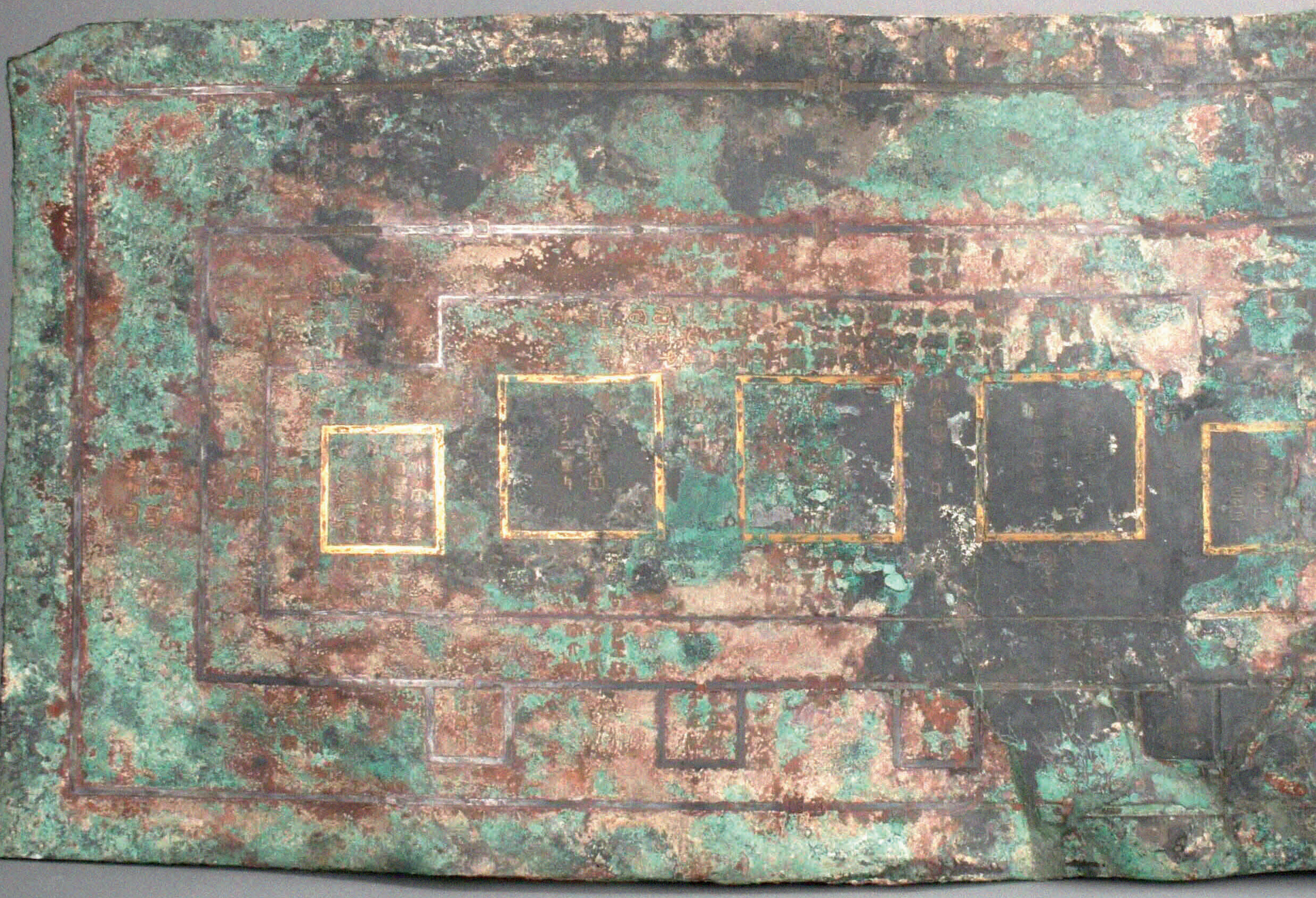
AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Im Jena-Experiment untersuchen Wissenschaftler auf 480 Wiesenparzellen mit einer jeweils unterschiedlichen Artenvielfalt, wie sich die auf die Funktionen des Ökosystems Auenwiese auswirkt.**
- **Versuchsfelder mit hoher Artenvielfalt sind robuster gegen Störungen, und ihr Boden speichert mehr Kohlenstoff.**
- **In sich selbst überlassenen Auenwiesen pendelt sich die Zahl der Arten bei etwa 30 ein.**
- **Der Feldversuch Biotree mit verschiedenen Wald-Ökosystemen hat ergeben, dass die Artenvielfalt in bewirtschafteten Wäldern am größten ist.**
- **Für den Artenschutz ist ein Konzept nötig, das die verschiedenen derzeitigen Ansätze zusammenführt und auch die unterschiedlichen Standorte von Ökosystemen berücksichtigt.**

GLOSSAR

^{13}C-Markierung: Sie dient unter anderem dazu, den Weg des Kohlenstoffs im Stoffwechsel oder in einer chemischen Reaktion zu verfolgen. Zu diesem Zweck wird in eine Ausgangsverbindung wie etwa CO_2 das schwere Kohlenstoffisotop ^{13}C statt des gewöhnlichen Kohlenstoffs ^{12}C eingebaut. In verschiedenen Phasen und nach der Umsetzung wird es in deren Produkten wie etwa aufgebauter Biomasse nachgewiesen.

Diploide Zellen: Sie besitzen einen doppelten Chromosomensatz, haploide Zellen dagegen nur einen einfachen. Pflanzt sich ein Lebewesen geschlechtlich fort, sind seine Keimzellen – also Eizellen, Spermien oder Pollen – haploid.



Die Masterpläne der Mandarine

In China wurden nicht nur das Feuerwerk, das Porzellan und die Schubkarre erfunden, sondern auch der Vorläufer der Post-its – jener gelben Zettel, auf denen Notizen aller Art festgehalten werden. Es sind Quellen wie diese, mit denen **Dagmar Schäfer** und ihr Team am **Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte** in Berlin Planungsgeschichten und ihre gesellschaftlichen Folgen erforschen und dabei auch an den Paradigmen der eigenen Disziplin rütteln.

Foto: Hebei Provincial Museum at Shijiazhuang, Hebei Province, China



TEXT **BIRGIT FENZEL**

Zettelwirtschaften müssen nicht immer Ausdruck chaotischer Zustände sein. Fallweise können sie auch genau das Gegenteil bedeuten. So sind die gelben Notizzettel an Skizzen, Artefakten und Memoranden des Palastmuseums in Beijing, die die Wissenschaftshistorikerin Dagmar Schäfer vom Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin in einem ihrer Projekte untersucht, nicht nur Zeugnisse des bürokratischen Eifers der kaiserlichen Hofbeamten vergangener Zeiten. Anhand von Quellen wie diesen rekonstruiert und analysiert sie mit ihrer Abteilung „Artefakte, Handeln und Wissen" am Berliner Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte Planungsgeschichten verschiedener Projekte, Zeiten und Kulturen. „Es geht uns darum herauszufinden, wie Wissen aus Handeln generiert und in Artefakten abgelegt wird", erklärt sie ihre Arbeit.

Laut Definition ist Planung die gedankliche Vorwegnahme zukünftigen Handelns zur Vorbereitung von Entscheidungen, die dieses voranbringen. „Ziel ist es immer, Dinge zum Laufen zu bringen", lautet Schäfers „Übersetzung" für die Intention, die hinter jedem Plan steckt. Dabei bieten ihr die chinesischen Vorläufer der modernen Post-it-Zettel nicht nur dezidierte Einblicke in das Projektmanagement innerhalb eines bestimmten Zeitraums und einer Kultur, sondern zugleich auch Erkenntnisse über die Rolle von Managementprozessen und Organisationsstrukturen bei der Entwicklung von Technologie und Wissen im Allgemeinen. „Der Einzelfall eines Projekts wird für uns zum Präzedenzfall, an dem wir untersuchen, wie beliebt bestimmte Vorgehensweisen waren und wie man mit ihnen umgegangen ist", formuliert sie ihren Ansatz, der Wissenschaft immer auch als kontinuierlichen und kollektiven Prozess versteht.

„Das meiste Wissen ist nicht von irgendwelchen Helden im Alleingang entwickelt worden, sondern das Resultat eines komplexen Vorgangs und kollektiven Unterfangens", sagt Schäfer, die mit der Sammlung von Artefakten und Notizen im Palastmuseum nicht nur eine außerordentlich kontinuierliche Dokumentation der vielen Arten, wie Menschen geplant haben, vorfand, sondern darüber hinaus auch eine, die die alternativen Wege, Wissen zu schaffen, in aller Lebensvielfalt aufzeigt. „Planen war Bestandteil fast jeder Aktivität: vom Kuchenbacken, der Beobachtung der Sterne bis hin zur experimentellen Laborarbeit." Das bemerkenswert breite Spektrum der Regieanweisungen aus dem alten Reich der Mitte gibt ihr auch Aufschluss über bestimmte Idealvorstellungen von universaler Ordnung und Methodik ihrer Zeit. „Das Prinzip des Planens bestand darin, die Bedeutung kleiner Details für das große Ganze zu verstehen", beschreibt sie einen immer wiederkehrenden Ansatz vieler Planungsgeschichten. >

Gewichtiges Fundstück: Die etwa einen Meter mal 50 Zentimeter große und rund 2300 Jahre alte Bronzeplatte zeigt den hohen Stellenwert, der dem Planen in China in frühester Zeit beigemessen wurde – der Bauplan der Grabstätte des Königs von Zhongshan ist mindestens so repräsentativ wie das Mausoleum selbst. Die symmetrischen Gebäudekonturen sind mit Gold- und Silberintarsien dargestellt, eingravierte Textfragmente benennen die Objekte, liefern Abmessungen, Entfernungen und nehmen auf eine behördliche Anordnung Bezug, die das Dokument zum Beispiel einer bereits ausgeprägten bürokratischen Verwaltung macht.



Lotus wurde wegen seines Nutzens als dekorative Blume, Nahrung und Medizinzutat intensiv angebaut. Das so erwirtschaftete Lotusgeld taucht wie eine eigenständige Währung in den Bilanzen der Verwaltungsakten auf.

Als eine der Quellen dafür nennt sie den renommierten Philosophen Zhu Xi (1130–1200), der seinerzeit propagierte, dass der Schlüssel zum Erfolg großer Pläne darin liege, Ordnung in die kleinen, ganz alltäglichen Dinge zu bringen. „Für ihn war die korrekte Platzierung des Ahnenschreins im Haus jedes Einzelnen der erste Schritt zur Organisierung von Gesellschaft und Staat“, so Schäfer über die Vorstellungen des berühmten Lehrmeisters und kaiserlichen Beraters aus der Zeit der Song-Dynastie, die sich über den Zeitraum von 960 bis 1279 erstreckte.

KOMPLEXES GEFLECHT

Die Planungsgeschichten verdeutlichten der Wissenschaftshistorikerin auch die wichtige Rolle, die historische Aushandlungsprozesse von Idealen und Realitäten politischer, gesellschaftlicher und materieller Ordnungen in der Entwicklung von Wissenskulturen spielten. „Denn durch den Zusammenprall mit der Wirklichkeit stand immer wieder auch die Frage nach der Generalisierbarkeit von Wissen und Methoden über Fachbereiche hinaus auf dem Prüfstand“, hat Dagmar Schäfer festgestellt. Die Konjunkturkurve der gelben Zettel sei dabei parallel zu den – teilweise vergeblichen – Bemühungen der Hofbeamten verlaufen, das handwerkliche Know-how und die Produktion am kaiserlichen Hof unter Dach und Fach zu bringen. Sie sieht in diesen Notizen Bestandteile eines zunehmend komplexer werdenden Geflechts aus Kodifizierungen und Modellen, mit dem die Dynastie der Qing auch auf Probleme reagierte, welche die Umsetzung des großen Masterplans der Mandarine für das Management bestimmter Produktionsbereiche in der Praxis mit sich brachte.

Denn wie die Kaiser der Song haben auch die Kaiser der Qing, die von 1644 bis 1912 herrschten, das Handwerk als Basis wirtschaftlichen Erfolges zur Chefsache erklärt und ihre Beamten persönlich für das Gedeihen der Seidenproduktion, Porzellanherstellung und anderer geldbringender Gewerke verantwortlich gemacht. „Die Dynastie der mandschurischen Qing stach vor allem durch die Institutionalisierung eines höfischen Expertenkreises hervor“, so Schäfer. Die Aufgabe dieser Technokraten, die oft keine oder nur eine rudimentäre klassische Ausbildung genossen hatten, habe darin bestanden, die technischen, materiellen und organisatorischen Schritte von der Idee zur Produktion und Verwendung zu leiten und zu begleiten. Hinter der systematischen Einbindung von Werkstätten in die staatliche Bürokratie stand ein Verlangen nach Partizipation: Die mandschurischen Herrscher kämpften um Zugang zu Wissensbereichen, die von chinesischer Tradition und Expertise geprägt waren, und um die Kontrolle darüber.

Doch zeigten sich die Handwerker nicht unbedingt bereit, sich selbst oder ihr – oft über Generationen gehütetes – Familiengeheimnis komplett dem Kaiser zur Verfügung zu stellen. So fand Schäfer bei ihren Recherchen unzählige Eingaben kaiserlicher Beamter, die abweichend von der offiziellen Geschichtsschreibung die Schwierigkeiten des Staates dokumentierten, die besten Handwerker aus den Städten des reichen Südens wie Hangzhou, Nanjing und Suzhou in die nördliche Hauptstadt Beijing zu ziehen. „Versuche, Jadeschnitzer an den Hof zu locken, scheiterten regelmäßig“, berichtet sie. Auch Seidenspinner und Weber, die angesichts des trockenen Klimas und der Ferne zu den traditionellen Märkten und Produktionsgebieten in Beijing nur Hofroben und Tributseiden von unzureichender Qualität produzieren konnten, hätten sich standhaft gegen einen Umzug an den Hof gewehrt. „Zwangsumgesiedelte Experten setzten sämtliche Hebel in Bewegung, um vorzeitig aus dem Dienst entlassen zu werden.“ Die kaiserlichen Werkstätten am Hof entwickelten sich zu Designbüros, während die eigentliche

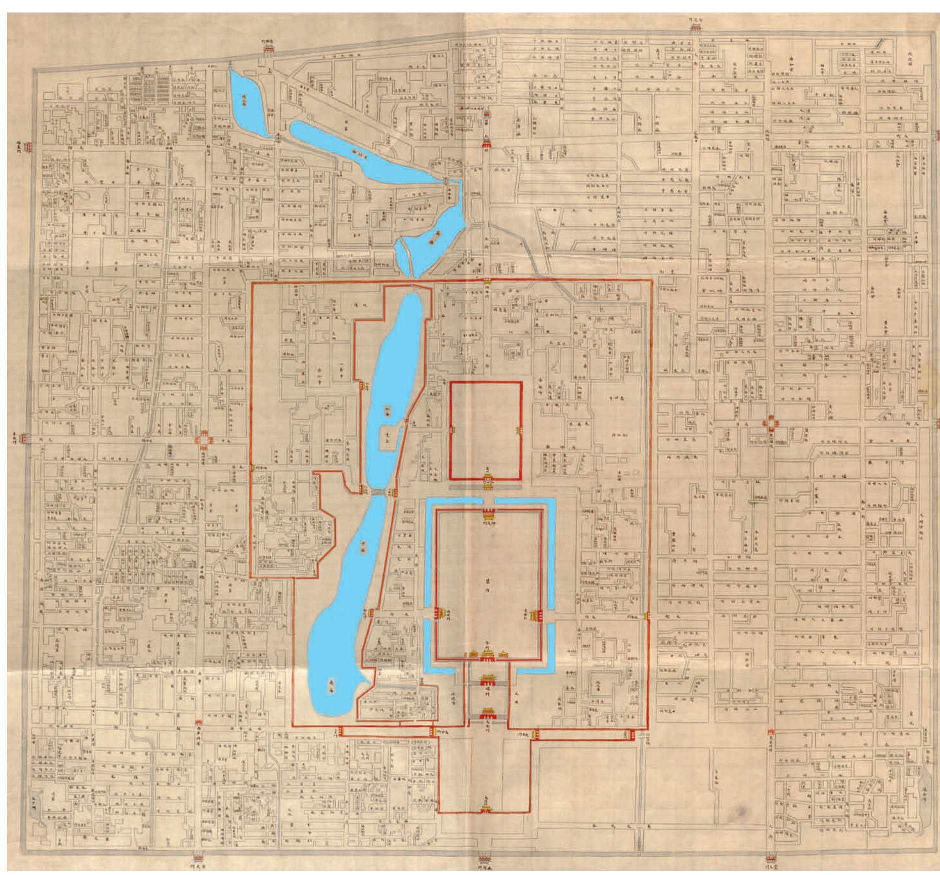
» Das meiste Wissen ist nicht von irgendwelchen Helden im Alleingang entwickelt worden.

Produktion in Jiangnan verblieben sei. Und so seien, wie die Forscherin im Vergleich zwischen Auftragsspezifikationen und noch erhaltenen Artefakten feststellen konnte, bei aller Akribie der Produktionspläne gewisse Reibungsverluste aufgetreten – ein Problem, das auch beim heutzutage in der Projektstrukturplanung gern verwendeten Top-down-Ansatz nur allzu bekannt ist. Wie so oft steckte auch schon im alten China der Teufel gern im Detail.

LUKRATIVES LOTUSMANAGEMENT

Ein weiteres Beispiel für die generalstabsmäßig durchorganisierte Verwaltungsstruktur der Qing-Zeit ist der Anbau von Lotus, den Schäfers Mitarbeiterin Martina Siebert untersucht hat. „Die Pflanze war Teil des kaiserlichen Haushalts, der – als eine Art Palastmaschine – Geld, Dinge und Identität für den mandschurischen Kaiserhof ‚produzierte'", lautet ihre charmante Kurzzusammenfassung des Projekts. Die Kultivierung der in China sehr verbreiteten Wasserpflanze entwickelte sich zwischen dem 17. und 19. Jahrhundert zu einem komplexen System. „In den Regularien wurden zum Teil kleinste Schritte festgelegt", so Siebert. Es habe sogar Vorschriften für die gelbe Farbe und die Stoffqualität der Tücher gegeben, in welche die Wurzeln einzuschlagen und an die Palastküche zu übergeben waren. (Die Wurzeln stammten von der 47 Hektar großen Wasserfläche des Westparks, auf der direkt neben der Verbotenen Stadt in Beijing Lotus im großen Stil angebaut wurde.) Oder Regeln, wie die ausgedienten Bootsstaken zu Griffen für jene Sicheln umzuarbeiten waren, mit denen verwitterte Lotusblätter und der Bewuchs auf den Gebäudedächern abgeschnitten wurden.

Andere Aufgaben und deren Organisation habe man der Gartenabteilung selbstverantwortlich überlassen. Nur die finanziellen Aufwendungen seien dem Zentralbüro des kaiserlichen Haushalts in Monats- oder Jahresberichten offenzulegen gewesen. Ein Teil dieser Selbstständigkeit des Gartenamts basierte auf den Einnahmen aus der Verpachtung von insgesamt 212 Hektar



Die akribische Dokumentation kleinster Schritte beim Lotusmanagement beinhaltete auch eine genaue Definition von Anbauflächen (hier blau hervorgehoben) in der Kaiserstadt (rot umrandet) und über deren Areal hinaus.

Foto: Library of Congress, Geography and Map Division

» Der Schlüssel zum Erfolg großer Pläne liegt darin, Ordnung in die kleinen, ganz alltäglichen Dinge zu bringen.

Wasserfläche für den Anbau von Lotus in der „Inneren Stadt" und nordwestlich und südlich von Beijing sowie vom Verkauf des Lotusüberschusses aus dem Westpark. Wie lukrativ das Lotusmanagement war, hat Siebert aus den ebenfalls sorgfältig archivierten Bilanzen erfahren. 1814 hat das Gartenamt rund 57 Kilogramm Silber erwirtschaftet, das als „Lotusgeld" in den Verwaltungsakten und den Regularien erscheine und fast wie eine Art eigenständige Währung behandelt worden sei.

PROJEKTPLANER WAREN FLEXIBLE QUERDENKER

Lotus hatte jedoch nicht nur Geldwert, weiß Martina Siebert zu erzählen. Die Pflanze war Koch- und Medizinzutat, dekorative Gartenblume und Agrarprodukt – und machte einen Haufen Arbeit. „Trug der Lotus in Blüte zur Inszenierung der Landschaft des Westparks bei und inspirierte zu dem einen oder anderen Gedicht, so mussten im Herbst Unmengen an verwitterten Blättern abgeschnitten und abtransportiert werden. Zur Ernte der Lotuswurzeln wurden die schlammigen Böden der Seen von Erntehelfern durch Treten gelockert und die horizontal wachsenden Wurzelketten herausgezogen." All das habe man mit Empfängen ausländischer Delegationen, rituellen Zeremonien und kaiserlichen Festen koordinieren müssen, fasst Martina Siebert den Organisationsaufwand zusammen.

Planungsgeschichten wie diese liefern den Berliner Wissenschaftshistorikern Erkenntnisse darüber, wo und wann Wissen systematisiert wurde, was niedergeschrieben wurde, was als Expertise galt und welche Bereiche und Prozesse als selbstverständlich hingenommen oder bewusst ignoriert wurden. Herausgefunden haben die Forscherinnen dabei auch, dass ständig neue Erkenntnisse gewonnen wurden, die sich eben nicht nur auf das jeweilige Projekt oder Produkt bezogen, sondern die sich erst durch Variationen im laufenden Prozess entwickelt haben.

„Historisch gesehen, ist Wissen oft dadurch entstanden, dass Menschen versuchten, konkrete Probleme zu lösen", sagt Schäfer. Doch zeigen viele ihrer Beispiele, dass die chinesischen Projektplaner bei aller Praxisorientierung nicht selten auch flexible Querdenker waren. In einer Episode aus der Geschichte der Viehzucht fand Schäfer ein Musterbeispiel ihres ausgeprägt lateralen Planungshandelns. Als der Staat der Song im 10. Jahrhundert die politische Kontrolle über den Norden verlor, ging dies auch mit dem Verlust der für Transportwesen und Militär wichtigen Ochsen und Pferde einher, die traditionell in jener Region gezüchtet wurden. Als Gegenmaßnahme ließen die kaiserlichen Beamten nicht nur eigene Gestüte und Zuchtbetriebe einrichten, sondern begründeten ein eigenes Fachgebiet namens „Methoden zum Ausgleich von Krankheiten und Störungen". Dieses umfasste, neben Regeln zur Pflege und Behandlung von Mensch und Tier, auch Ideen zum Wasserbau, zur Saatselektion, zur moralischen Erziehung sowie zur Ausbildung philologischer und philosophischer Kenntnisse.

„Hier ist eine ganz andere Entwicklung der Wissenschaften vorangetrieben worden, als wir sie in Europa vorfinden", so Schäfer. In der westlichen Welt sei sehr lange davon ausgegangen worden, dass theoretisches Wissen der Königsweg zur Erkenntnis ist. „Der Blick in die chinesischen Planungsgeschichten aber zeigt, dass Praktiken sehr stark dazu beigetragen haben, wie sich wissenschaftliches Denken und Handeln entwickelten." Damit hat sie mehr als einen Beweis dafür, dass die Grenzen zwischen Wissenschafts- und Technikgeschichte doch nicht so strikt gezogen sein können, wie sie von manchen betrachtet werden. „Unsere Ergebnisse bringen mit Sicherheit eine weitere Ebene in den reichhaltigen Diskurs um die Rolle von Technikgeschichte ein", ist sie überzeugt. Aber vielleicht noch wichtiger ist ihr die Erkenntnis, dass es richtig ist, die traditionellen Paradigmen der Wissenschaftsgeschichte auch weiterhin kritisch zu hinterfragen. „Ich denke, dass meine Arbeit in China zeigt, wo es sich lohnt, in allen Regionen der Welt besser hinzuschauen." ◂

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- **Wie Beamten am kaiserlichen Hof in China geplant haben, lässt sich auch Jahrhunderte später noch nachvollziehen. Skizzen, Rechnungen, Pläne, Notizzettel – kurz: Artefakte aller Art – helfen Wissenschaftshistorikern, Planungsgeschichten nachzuzeichnen.**
- **Planungsgeschichten können Aufschluss darüber geben, was die jeweiligen Wissenskulturen ausmachten: Von welchen Prozessen und Strukturen war Handeln geprägt, und wie flossen Ideale und Realitäten politischer, gesellschaftlicher und materieller Ordnungen in dieses Handeln ein?**
- **Der Lotusanbau am kaiserlichen Hof während der Qing-Zeit zeigt zweierlei: zum einen die umfassend regulierte Doppelrolle der Pflanze als dekorative Blume zur Blütezeit und als Nahrungsmittel zur Wurzelernte; zweitens steht die Lotuskultivierung sinnbildlich für ein kleines Zahnrad im Getriebe der Palastmaschine, die unter Aufsicht der kaiserlichen Haushaltsabteilung Geld, Dinge und Identität generierte.**

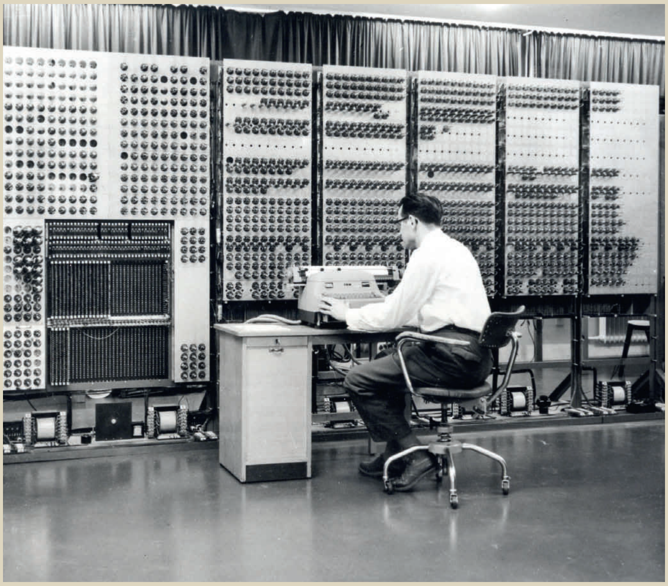
Als die Computer rechnen lernten

Wissenschaft ohne Computer? Heute undenkbar! Vor mehr als einem halben Jahrhundert war das allerdings normal. Anfang der 1950er-Jahre trat dann der Mathematiker und Physiker **Heinz Billing** auf den Plan – und brachte der Max-Planck-Gesellschaft das elektronische Rechnen bei. Mit der „Göttingen 1" sollte alles beginnen.

TEXT **TIM SCHRÖDER**

Viele Studenten im Göttinger Max-Planck-Institut für Physik wunderten sich, wenn sie zum ersten Mal zum Hörsaal gingen. Im letzten Raum auf der rechten Seite tuckerte es laut. Durch die Milchglasscheibe der Zimmertür war nichts zu erkennen. Durch die Lüftungslöcher aber, die jemand unten ins Türblatt gebohrt hatte, klang ein mächtiges Ticken wie von 100 Uhrwerken. Zunächst wusste kaum einer der jungen Studenten, was sich hinter der Milchglasscheibe verbarg. Und die Aufschrift „G1" neben der Tür machte alles noch viel rätselhafter. Wenn Heinz Billing dann in einer Vorlesung das Geheimnis lüftete, war die Faszination umso größer.

Die G1 war so etwas wie der erste deutsche Supercomputer. Und ihr Schöpfer Heinz Billing der Pionier, der der Max-Planck-Gesellschaft das elektronische Rechnen in großen Dimensionen beibrachte. Damals, 1952, hatten die meisten Deutschen andere Dinge im Kopf. Der Krieg hatte ein verwüstetes Land hinterlassen. Die Menschen versuchten, in den Alltag zurückzufinden. Und auch an den Hochschulen und Forschungsinstituten kam der Wissenschaftsbetrieb nur langsam wieder in Gang. In der Max-Planck-Gesellschaft dachte damals kaum jemand daran, dass dereinst Großrechner Fragen der Astro- und Plasmaphysik beantworten würden. Heinz Billing schon.



Meisterstück der Ingenieurskunst: Die Göttinger Rechenmaschine G3, hier beim Betriebsbeginn im Jahr 1960. An der Konsole Billings Mitarbeiter Arno Carlsberg,

Foto: Archiv der Max-Planck-Gesellschaft

Heinz Billing hatte in den 1930er-Jahren Mathematik und Physik studiert. Nach seiner Promotion bewarb er sich 1938 bei der Aerodynamischen Versuchsanstalt (AVA) in Göttingen, um dem Wehrdienst zu entgehen. Dennoch wurde er einberufen. Zum Glück kam es nicht zu einem Einsatz an der Front: Der ehemalige Direktor der AVA konnte die Behörden davon überzeugen, dass Billing für das Institut „unabkömmlich" sei. Da der Radar damals noch nicht ausgereift war, sollte Billing Mikrofone für Jagdflugzeuge entwickeln, die feindliche Flugzeuge am Propellergeräusch erkennen sollten. Dazu mussten aber die Geräusche des eigenen Propellers unterdrückt werden.

Billing kam auf die Idee, die eigenen Propellergeräusche im Mikrofonsignal zu dämpfen. Dafür nahm er das Propellergeräusch auf Tonband auf. Dieses klebte er auf eine kleine Drehtrommel, sodass ein Endlos-Tonband entstand, mit dem er experimentieren konnte. Zwar klappte die Geräuschunterdrückung nicht, weil das Propellerbrummen zu unregelmäßig war. Doch hatte Heinz Billing damit – ohne es zu ahnen – den Schlüssel zum ersten deutschen Forschungscomputer in der Hand.

Nach Kriegsende ruhte die Arbeit für mehrere Monate. Erst im Herbst 1945 ging es weiter. Institute des Vorläufers der Max-Planck-Gesellschaft, der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, zogen in die alten AVA-Gebäude ein, darunter das Institut für Physik mit Werner Heisenberg, Max von Laue und Carl Friedrich von Weizsäcker, außerdem Max Planck und Otto Hahn. Heinz Billing war jetzt in bester physikalischer Gesellschaft. Er suchte nach einem neuen Betätigungsfeld und baute das Labor für Hochfrequenztechnik auf.

Im Spätsommer 1947 besuchten englische Computerfachleute das Institut, darunter auch der englische Informatikpionier Alan M. Turing, der im Zweiten Weltkrieg die deutsche Verschlüsselungsmaschine Enigma geknackt hatte. Von den Engländern erfuhr Heinz Billing, dass diese an einem elektronischen Rechenautomaten arbeiteten, der *Automatic Calculation Engine*. Er war begeistert und begann, einen eigenen Rechenautomaten zu entwerfen: die „Göttingen 1" – G1.

Im Juni 1950 war die Maschine fertig. Genau wie heutige Computer arbeitete sie mit dem binären Code, bei dem Buchstaben oder Ziffern mit Nullen und Einsen dargestellt werden – die Ziffer

1 zum Beispiel mit „0001“. In Billings Rechenmaschine wurden die Zustände 0 und 1 zum großen Teil mit mechanischen Relais umgesetzt, die zwischen „Strom an“ für die 1 und „Strom aus“ für die 0 hin- und herschalteten. Etwa 100 Relais klickten und klackten ohne Unterlass und erzeugten permanent ein Geräusch, das den Studenten auf dem Weg zum Hörsaal in den Ohren klang.

Neben den Relais verbaute Billing auch 476 kleine Elektronenröhren, wie man sie in Röhrenradios benutzte. Diese konnten deutlich schneller hin- und herschalten als die mechanischen Relais. Herzstück der G1 war ein Magnettrommelspeicher, wie Heinz Billing ihn wenige Jahre zuvor konstruiert hatte. Obwohl dieser mit 3000 Umdrehungen pro Minute rotierte, war seine Leistung – verglichen mit heutigen Computern – winzig. Der Speicher hatte eine Kapazität von 26 Zahlen. Eine Rechenoperation wie zum Beispiel eine Multiplikation dauerte etwa eine Sekunde.

Damals aber war das rund zehnfach schneller als mit den üblichen mechanischen Rechenautomaten. Für die Kollegen aus der Physik war die G1 ungeheuer wichtig. Vor allem Ludwig Biermann, der Chef der Astrophysik in Göttingen, nutzte die Maschine. Biermann war derjenige, der neben Billing das Potenzial der elektronischen Rechenmaschinen für die Forschung erkannte.

Ludwig Biermann bestärkte Heinz Billing darin, neue Maschinen zu bauen. So folgte 1955 die G2, die nur noch Elektronenröhren enthielt und zehnfach schneller als ihre Vorgängerin war. Friedrich Hertweck, der damals in Göttingen studierte und später den Bereich Informatik des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik in Garching leitete, erinnert sich gut an die Zeit. „Ich war von der G1 hinter der Milchglasscheibe und der G2 fasziniert – und habe ein wenig Geld damit verdient, nachts die Maschinen zu bewachen“, sagt Hertweck heute.

Da die Speicher der G1 und G2 noch so klein waren, wurden Rechenprogramme mit Lochstreifen in die Maschinen eingelesen. Auch Zwischenergebnisse wurden in Lochstreifen gestanzt und dann gleich wieder für neue Rechenoperationen in die Maschine eingefüttert. Manchmal sprang ein Streifen aus der Führung, oder ein Relais hakte. „Dann musste nachts jemand da sein, der die Störung behob“, sagt Hertweck.

An Heinz Billing erinnert sich Hertweck sehr gut: „Billing war ein energiegeladener Mensch – und trotzdem ein ruhiger Typ, der des Öfteren mit einer Zigarette im Mund an der Tür lehnte.“ Für Friedrich Hertweck besteht Billings Leistung darin, dass er der Wissenschaft in den 1950er- und 1960er-Jahren Rechenmaschinen zur Verfügung stellte, als es auf dem freien Markt noch gar keine Großrechner gab.

Süddeutsche Zeitung vom 29. April 1982

» Heinz Billing, Pionier der deutschen Entwicklung elektronischer Rechenmaschinen, wird jetzt anlässlich seiner Emeritierung mit einem Festkolloquium der Max-Planck-Gesellschaft in München geehrt. Billing (…) erfand im Jahr 1948 den Magnettrommelspeicher für Rechenmaschinen.«



Letzter Handgriff: Computerpionier Heinz Billing an seiner Rechenmaschine G3, die nach zwölfjähriger Betriebszeit in einer kleinen Feier am 9. November 1972 endgültig abgeschaltet wurde.

Foto: Archiv der Max-Planck-Gesellschaft

Damals schwankten viele Wissenschaftler zwischen Begeisterung für die neumodischen Rechenmaschinen und Ablehnung. Eine astrophysikalische Arbeitsgruppe aus Heidelberg bat die Göttinger damals, die Bahn eines neu entdeckten Asteroiden mit der G2 zu berechnen. Die Heidelberger selbst ließen die Berechnungen von etwa 20 Sekretärinnen an kleinen Tischrechenmaschinen durchführen.

Die Ergebnisse aus Göttingen wichen schließlich deutlich von denen aus Heidelberg ab, sodass man in Heidelberg glaubte, der Göttinger Rechner habe versagt. Später zeigte sich, dass nicht die Maschine, sondern die Kalkulationen aus Heidelberg zu ungenau waren. „Es hat bis in die 1960er-Jahre gedauert, bis sich die Einsicht durchsetzte, dass Großrechner wichtig für die Forschung sind“, sagt Hertweck.

Im Jahr 1958 wurde das Max-Planck-Institut für Physik aus Göttingen nach München verlegt und in Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik umgetauft. Der G2 folgte 1960 die G3, die pro Sekunde bereits 5000 bis 10 000 Rechenoperationen schaffte. Zu dieser Zeit kam mit der IBM 7090 auch der erste kommerzielle Großrechner auf den Markt. Heinz Billing war derjenige, der die Max-Planck-Gesellschaft stets bei der Anschaffung dieser mehrere Millionen Mark teuren Maschinen beriet. So wurde er Vorsitzender des 1968 gegründeten Beratenden Ausschusses für Rechenanlagen.

Obwohl Heinz Billing als Computerpionier seiner Zeit voraus war, wurde er nicht zu einem großen Fabrikanten kommerzieller Rechner. Das war auch nicht nötig. „Ich glaube, dass er absolut zufrieden war damit, dass seine Maschinen etlichen wissenschaftlichen Projekten den Weg ebneten“, sagt Friedrich Hertweck. Nachdem nach und nach immer mehr industrielle Großrechner auf den Markt kamen, stieg Billing wieder in sein altes Kerngebiet, die Physik, ein. Er arbeitete jetzt als Astrophysiker und beschäftigte sich damit, die von Albert Einstein postulierten Gravitationswellen – die kosmischen Echos des Urknalls – nachzuweisen.

Heinz Billing lebt heute in Garching. In den Wochen um seinen 100. Geburtstag im April 2014 meldeten US-Forscher, mit einem Detektor in der Antarktis erstmals Gravitationswellen gemessen zu haben – was sich später jedoch als Irrtum herausstellte. Vielleicht aber sind Heinz Billings Leidenschaft am Ende doch die Großrechner gewesen. „Manchmal höre ich meinen Vater im Schlaf reden“, sagt sein Sohn Heiner Billing. „Vor einigen Tagen erst sagte er: ‚Jetzt müssen wir mal durchrechnen, mit welchen Algorithmen wir zwei große Zahlen multiplizieren können.‘“



Starker Wagenheber

Michael Tomasello, **Eine Naturgeschichte des menschlichen Denkens**

252 Seiten, Suhrkamp Verlag, Berlin 2014, 32,00 Euro

Der Philosoph Ludwig Wittgenstein hatte vielleicht als Erster den Gedanken, den der amerikanische Philosoph Hilary Putnam, wie Michael Tomasello meint, auf den Punkt brachte. Er behauptete, dass das, was Denken ausmacht, nicht „in einem einzelnen Kopf steckt“. Genau dieser Gedanke stellt auch den Kern von Tomasellos jüngstem Buch dar.

Eine gute Geschichte braucht einen Anfang, eine Mitte und ein Ende. Ist das bei einer Naturgeschichte genauso? Was wäre der Anfang einer *Naturgeschichte des Denkens*, was Mitte, was Ende? Das Ende, auf das diese Geschichte hinausläuft, ist uns bekannt – es ist die moderne menschliche Kultur, in der reflexives, objektives, hochkomplexes Denken die Regel ist. Mit den Worten Tomasellos: „Mit den modernen Menschen und ihren Fertigkeiten zur konventionellen sprachlichen Kommunikation erreichen wir das voll ausgebildete schlussfolgernde Denken (…)“

Der Autor, Direktor am Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie, stellt die grundlegende Frage: Was macht das menschliche Denken einzigartig? Zwei weitere Motive treiben Tomasello dabei an. Zum einen will er wissen, wie sich das menschliche Denken auf natürliche Weise herleiten lässt. Zum anderen möchte er die traditionelle Auffassung vom Ursprung des Denkens im einzelnen Subjekt widerlegen, also nicht weniger als einen Paradigmenwechsel herbeiführen.

Der Kern seines Buchs ist die Hypothese von der „gemeinsamen Intentionalität“. Intentionalität meint, sich auf etwas – denkend, kommunizierend – zu beziehen. „Gemeinsam“ ist sie, da sich die Beziehung nicht je für sich, sondern im Bewusstsein wenigstens zweier Individuen vollzieht: wenn frühe Jäger etwa eine Beute oder eine Gefahr im Blick haben. Hierin liege das Potenzial, elementare, überlebensnotwendige Gemeinsamkeiten symbolisch auszudehnen.

Diese gemeinsame Intentionalität habe schon von Anfang an drei Aspekte, die in eine objektive, eine reflexive und in eine normative Richtung zielten: Dinge kognitiv zu repräsentieren, mögliche Ergebnisse denkend vorwegzunehmen und – drittens – uns selbst, unser Verhalten in Bezug auf das Verhalten einer Gruppe, zu beobachten und zu beeinflussen.

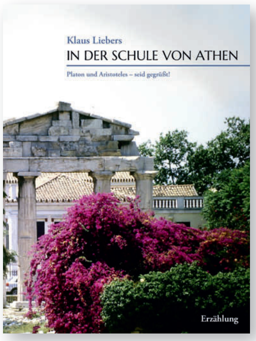
Das menschliche Denken, so der Autor, ist einzigartig, weil der Mensch in der Lage ist, Situationen mit vielfachen Variablen einzuschätzen oder zu beurteilen und dabei soziale Perspektiven miteinzubeziehen. Genauer: Am Anfang waren die „Schlussfolgerungen des gemeinsamen Vorfahren von Menschen und Menschenaffen (…) einfache kausale und intentionale Schlüsse“, wie Tomasello schreibt. Und am (vorläufigen) Ende? „Wir haben jetzt so etwas wie formale und pragmatische Schlussfolgerungen, und der Kommunizierende kann aus einer objektiven und normativen Perspektive auf externe Kommunikationsvehikel reflektieren.“

Die sich beschleunigende Entwicklung in der Geschichte liege daran, dass die modernen Menschen „einen stärkeren Wagenheber“ zur Verfügung gehabt hätten als die Frühmenschen und die Menschenaffen. Und „zusätzlich zu leistungsfähigen Fertigkeiten zur Imitation (...) die Neigung hatten, andere etwas zu lehren und sich außerdem anderen anzupassen, wenn sie selbst etwas gelehrt wurden“. Auf diese Weise seien Kulturgruppen zu ihren „eigenen kognitiven Artefakten“ gekommen, die sie permanent verbessern konnten.

Nach Aristoteles ist das Ende einer Geschichte das, wonach „nichts anderes mehr eintritt“. Nun können wir freilich nicht die Zukunft vorhersagen. Aber klar ist, dass das Ende der Naturgeschichte des menschlichen Denkens nach Michael Tomasello nur ein vorläufiges sein kann. Der Forscher selbst stellt am Ende seiner Untersuchung Fragen, die er mit seiner Naturgeschichte nicht klären kann. Was etwa trägt das Individuum oder das Individuelle zum Verständnis des Denkens als eines wesentlich gemeinsamen Handelns bei? Und: Welche Bedeutung hat die Neigung des Menschen zum verdinglichenden Denken?

In jedem Fall ist das vorliegende Buch ein großartiger Beitrag zum Selbstverständnis des Menschen – auch wenn es überwiegend sehr fachsprachlich und wenig erzählerisch geschrieben ist.

Peter Steiner



Der Club der toten Philosophen

Klaus Liebers, **In der Schule von Athen**, Platon und Aristoteles – seid gegrüßt!

196 Seiten, epubli GmbH, Berlin 2014, 14,00 Euro

Platon ist 30 Jahre alt, als er sich im Jahr 399 vor Christus im Hafen von Piräus einschifft und sein altes Leben hinter sich lässt. Angetrieben von dem brennenden Wunsch, die Idee für einen gerechten Staat zu finden, kehrt der junge Aristokrat seiner kriegsgebeutelten Heimatstadt Athen den Rücken und begibt sich auf eine Reise durch die griechischsprachige Welt.

Über Kreta und Nordafrika führt ihn der Weg nach Sizilien. In der florierenden Hafenstadt Syrakus genießt Platon die Gastfreundschaft des Tyrannen Dionysios – im Hinblick auf den gerechten Staat eher wenig ergiebig. Anschließend reist er weiter nach Tarent in Süditalien, wo er den Mathematiker Archytas kennenlernt. Dieser führt Platon in die Lehren der Pythagoreer ein, die sich mit Fragen zu den Harmonien im Kosmos beschäftigen. Als einzig wahre Quelle des Wissens gilt dabei die Geometrie – eine Haltung, die Platon in seiner Liebe zur Mathematik bestärkt.

Zwölf Jahre lang währt Platons Weltenbummler-Dasein. Hochgebildet kehrt er schließlich in seine Heimat zurück. In einem weitläufigen Garten nordwestlich von Athen lässt er sich nieder und gründet eine Philosophenschule, der er zu Ehren des griechischen Helden Akademos den Namen „Akademie" gibt. „Kein der Geometrie Unkundiger trete hier ein", heißt es über dem Eingangstor. Zu Platons Schülern zählt auch Aristoteles, der im Alter von 18 Jahren in die Akademie kommt und im Laufe der Zeit zum zweiten führenden Kopf der Schule avanciert.

Etwa 40 Schüler studieren hier, darunter zeitweise auch zwei Frauen. Die meisten stammen aus aristokratischen Familien und können es sich leisten, ihre Zeit ganz der Muße zu widmen. In diesem illustren Kreis werden Fragen diskutiert, die auch Jahrtausende später noch aktuell sind: In welchem Staat kann der Mensch sein Glück finden? Ist unsere Welt von allein entstanden, oder gibt es einen Schöpfer? Was ist der Urstoff des Kosmos?

Über diese und weitere Themen lässt der Autor Klaus Liebers seine Protagonisten in lockerer Sprache plaudern. Liebers ist emeritierter Professor für Didaktik der Physik, sein Spezialgebiet ist die Geschichte der Naturwissenschaften. Mit der Erzählung lässt er seine Leser am Leben und an den Gesprächen in der Schule von Athen teilhaben und vermittelt damit Einblicke in die Gedankenwelt der antiken Philosophen.

So berichtet er etwa von den angeregten Diskussionen über die Frage nach dem Urstoff der Welt. Der große Thales von Milet hatte Jahrhunderte zuvor Wasser dazu auserkoren, sein jüngerer Kollege Anaximenes hingegen plädierte für Luft. Wie aber konnte aus Wasser harter Fels entstehen oder aus Luft ein massiger Fisch? Und wie nur war Heraklit auf die Idee gekommen, Feuer sei der Ursprung von allem – wo doch jede Glut der Zufuhr von Brennmaterial bedarf, um am Leben zu bleiben?

Noch hitziger werden die Debatten, als es um Demokrit geht. Der nämlich hatte allen Ernstes behauptet, die gesamte Natur bestehe aus kleinsten Teilchen – die Wolken am Himmel, das Wasser im Meer ebenso wie Pflanzen, Tiere und sogar der Mensch. Als „Atome" hatte er diese Teilchen bezeichnet, nach dem griechischen Wort *átomos* für „das Unzerschneidbare". Zwischen den Atomen befinde sich leerer Raum – die Voraussetzung dafür, dass sie sich frei bewegen könnten. „Der gebräuchlichen Redeweise nach gibt es Farbe, Süßes, Bitteres – in Wahrheit aber nur Atome und Leeres", so Demokrit. Seine Zeitgenossen waren schockiert.

Als stummer Teilnehmer an den Gesprächsrunden erfährt der Leser viel über bekannte und weniger bekannte Philosophen der Antike. Im Mittelpunkt der Erzählung aber stehen Platon und sein mehr als 40 Jahre jüngerer Schüler Aristoteles. Liebers berichtet aus dem bewegten Leben der beiden und flicht dabei geschickt die geschichtlichen Hintergründe mit ein: die ein Vierteljahrhundert währende Folge von Kriegen zwischen Athen und Sparta, den Aufstieg und Fall Alexanders des Großen oder das Ringen um die Staatsform in Athen – Gegebenheiten, die das Leben von Platon und Aristoteles prägten.

Klaus Liebers' Erzählung liest sich leicht und unterhaltsam und richtet sich an jugendliche wie ältere Leser. Dass es dem Autor gelingt, seine Figuren plastisch und lebendig wirken zu lassen, baut Berührungsängste ab. All diejenigen, die sich für antike Philosophie interessieren, dürften das Büchlein mit Gewinn lesen.

Elke Maier



Die Tabakstrategie

Naomi Oreskes, Erik M. Conway, **Die Machiavellis der Wissenschaft**, Das Netzwerk des Leugnens

389 Seiten, Verlag Wiley-VCH, Weinheim 2014, 24,90 Euro

Das Originalbuch sorgte bei seinem Erscheinen in den USA vor ein paar Jahren für Aufsehen: In sieben umfangreichen Kapiteln schildern die amerikanischen Wissenschaftshistoriker Naomi Oreskes und Erik M. Conway die teilweise verdeckte Beeinflussung der öffentlichen Debatten und der Politikberatung über Umweltthemen, Klimaschutz oder SDI in den Vereinigten Staaten.

Ihren Ausgangspunkt nimmt die Darstellung bei dem gut dokumentierten Versuch der US-amerikanischen Tabakfirmen, mithilfe von gekauften Wissenschaftlern die Schädlichkeit des Rauchens zu leugnen. Doch in den 1990er-Jahren führten Gerichtsprozesse zum Tobacco Master Settlement Agreement, durch das die Tabakfirmen verpflichtet wurden, über 25 Jahre insgesamt 200 Milliarden US-Dollar zu zahlen. Ebenso mussten die Unternehmen alle Papiere offenlegen, mit denen sie die Öffentlichkeit hinters Licht geführt hatten. In der Tobacco Legacy Documents Library in San Francisco sind heute nicht weniger als 14 Millionen Dokumente online zugänglich – und immer noch werden neue eingestellt.

Naomi Oreskes und Erik M. Conway erzählen auch die Geschichte um den Klimaforscher Ben Santer, der 1995 einer der Autoren des zweiten IPCC-Berichts war. Im Rahmen des Peer Reviews überarbeitete er seinen Teil des Berichts, in dem es auch um sogenannte Fingerprint-Methoden ging, um natürliche von menschengemachten Klimaänderungen zu unterscheiden. Politisch gut vernetzte Forscher wie etwa Frederick Seitz, ehemaliger Vorsitzender der US-amerikanischen Akademie der Wissenschaften, polemisierten jetzt gegen Santer, weil sie den Klimawandel leugneten. Schließlich erschien im Wall Street Journal ein Leserbrief von Seitz, worin dieser behauptete, Santer habe seinen IPCC-Bericht gefälscht und angeblichen politischen Vorgaben angepasst. Santer brauchte enorm viel Zeit und Energie, um danach seinen wissenschaftlichen Ruf zu retten.

Ein weiteres Beispiel betrifft Rachel Carson. Gegen die Biologin gab es 2007 eine Art posthume Rufmordkampagne, angestrengt von konservativen, teilweise dubiosen Institutionen: Carson wurde für Millionen Malariatote verantwortlich gemacht, weil ihre Bücher angeblich die Verbannung der massenhaften Anwendung von DDT in den USA bewirkt hätten. Sachlich und historisch ist das Unsinn, wie die Autoren darlegen: Das Malariaprogramm der Weltgesundheitsorganisation WHO aus den 1960er-Jahren war offiziell gescheitert, weil Resistenzen gegen die verwendeten Pestizide auftraten. Außerdem wird DDT in einigen afrikanischen Ländern für die Imprägnierung von Häusern nach wie vor benutzt.

Viele der geschilderten Fälle können so wohl nur in den USA vorkommen, weil aufgrund von Besonderheiten des Rechtssystems etwa Industrieverbände wegen Verschwörung verurteilt werden oder zum Beispiel hohe Schadenersatzklagen für die Risiken des Rauchens möglich sind. Außerdem dürften weder Militär noch Naturwissenschaften in der Geschichte der meisten anderen Staaten eine derart große Rolle spielen. Dennoch ist das Buch auch für deutsche Leser durchaus interessant. Oreskes und Conway haben gründlich recherchiert und zeigen, wie gekaufte Wissenschaftler, die Industrie oder Verbände ihre Interessen rücksichtslos und mit allen Mitteln durchzusetzen versuchten – ganz im Sinne des Machiavellismus eben.

Gottfried Plehn

Weitere Empfehlungen

- Martin Apolin, **Physik für echte Männer**, Ecowin Verlag, Salzburg 2015, 22,90 Euro
- Harald Fritzsch, **Quantenfeldtheorie**, Wie man beschreibt, was die Welt im Innersten zusammenhält, Springer Verlag, Berlin 2015, 39,99 Euro
- Rolf Heilmann, **Auch Physiker kochen nur mit Wasser**, Wo die Wissenschaft an ihre Grenzen gerät, Herbig Verlag, München 2015, 20,00 Euro
- Karin Mölling, **Supermacht des Lebens**, Reisen in die erstaunliche Welt der Viren, C.H. Beck Verlag, München 2015, 24,95 Euro

Standorte

- Institut / Forschungsstelle
- Teilinstitut / Außenstelle
- Sonstige Forschungseinrichtungen
- Assoziierte Forschungseinrichtungen

Niederlande
- Nimwegen

Italien
- Rom
- Florenz

USA
- Jupiter, Florida

Brasilien
- Manaus

Luxemburg
- Luxemburg



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Impressum

MaxPlanckForschung wird herausgegeben von der Wissenschafts- und Unternehmenskommunikation der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V., vereinsrechtlicher Sitz: Berlin.
ISSN 1616-4172

Redaktionsanschrift
Hofgartenstraße 8
80539 München
Telefon: 089 2108-1719 / -1276 (Fax: -1405)
E-Mail: mpf@gv.mpg.de
Internet: www.mpg.de/mpforschung
Kostenlose App: www.mpg.de/mpf-mobil

Verantwortlich für den Inhalt
Dr. Christina Beck (-1276)

Redaktionsleitung
Peter Hergersberg (Chemie, Physik, Technik; -1536)
Helmut Hornung (Astronomie; -1404)

Redaktion
Susanne Beer (Kultur, Gesellschaft; -1342)
Dr. Elke Maier (Biologie, Medizin; -1064)
Dr. Harald Rösch (Biologie, Medizin; -1756)

Bildredaktion
Susanne Schauer (-1562)

Gestaltung
Julia Kessler, Sandra Ostertag
Voßstraße 9
81543 München
Telefon: 089 2781 8770
E-Mail: projekte@designergold.de

Litho
KSA Media GmbH
Zeuggasse 7
86150 Augsburg

Druck & Vertrieb
Vogel Druck- & Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5
97204 Höchberg

Anzeigenleitung
Beatrice Rieck
Vogel Druck- & Medienservice GmbH
Leibnizstraße 5
97204 Höchberg
Telefon: 0931 4600-2721 (Fax: -2145)
E-Mail: beatrice_rieck@vogel-druck.de

MaxPlanckForschung berichtet über aktuelle Forschungsarbeiten an den **Max-Planck-Instituten** und richtet sich an ein breites wissenschaftsinteressiertes Publikum. Die Redaktion bemüht sich, auch komplexe wissenschaftliche Inhalte möglichst allgemeinverständlich aufzubereiten. Das Heft erscheint in deutscher und englischer Sprache (**MaxPlanckResearch**) jeweils mit vier Ausgaben pro Jahr; die Auflage dieser Ausgabe beträgt 85000 Exemplare (**MaxPlanckResearch**: 10000 Exemplare). Der Bezug ist kostenlos. Ein Nachdruck der Texte ist nur mit Genehmigung der Redaktion gestattet; Bildrechte können nach Rücksprache erteilt werden. Die in **MaxPlanckForschung** vertretenen Auffassungen und Meinungen können nicht als offizielle Stellungnahme der **Max-Planck-Gesellschaft** und ihrer Organe interpretiert werden.

Die **Max-Planck-Gesellschaft** zur Förderung der Wissenschaften unterhält 83 Institute und Forschungseinrichtungen, in denen rund 22600 Personen forschen und arbeiten, davon etwa 5600 fest angestellte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Der Jahresetat 2015 umfasst insgesamt 1,6 Milliarden Euro. Die **Max-Planck-Institute** betreiben Grundlagenforschung in den Natur-, Lebens- und Geisteswissenschaften. Die **Max-Planck-Gesellschaft** ist eine gemeinnützige Organisation des privaten Rechts in der Form eines eingetragenen Vereins. Ihr zentrales Entscheidungsgremium ist der Senat, in dem Politik, Wissenschaft und sachverständige Öffentlichkeit vertreten sind.



Max Planck
FORSCHUNG
2.2015
Das Wissenschaftsmagazin der Max-Planck-Gesellschaft
Altern
FORSCHUNGSPOLITIK
Wir müssen Exzellenz neu bündeln
INFORMATIK
Display aus dem Drucker
BIODIVERSITÄT
Bilanz im Biotop

